

# AKTIONSPLAN ZUM HANDLUNGSFELD ENERGIE

NEUE WEGE FÜR  
INNOVATION UND WERTSCHÖPFUNG

Strukturwandel im Mitteldeutschen Revier

Ein Projekt der



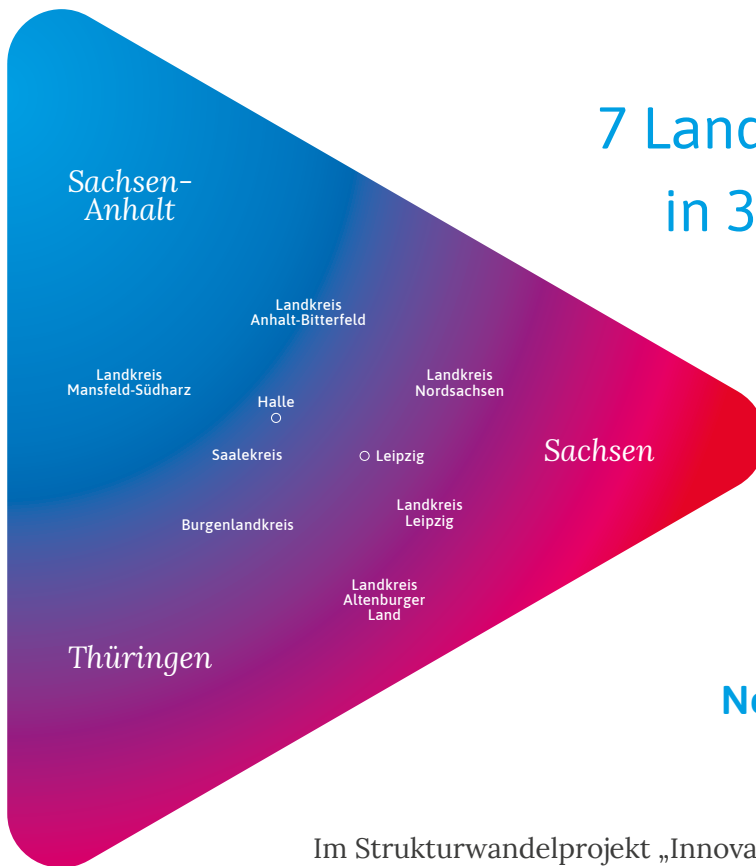
METROPOLREGION  
MITTELDEUTSCHLAND



**AKTIONSPLAN  
ZUM HANDLUNGSFELD  
ENERGIE**



## 7 Landkreise und 2 Städte in 3 Bundesländern mit 2 Mio. Einwohnern



### Neue Wege für Wertschöpfung im Mitteldeutschen Revier

Im Strukturwandelprojekt „Innovationsregion Mitteldeutschland“ hat die Europäische Metropolregion Mitteldeutschland (EMMD) gemeinsam mit den Landkreisen Altenburger Land, Anhalt-Bitterfeld, Burgenlandkreis, Leipzig, Mansfeld-Südharz, Nordsachsen und Saalekreis sowie den Städten Halle (Saale) und Leipzig neue Strategien und Projekte für Innovation und Wertschöpfung entwickelt, um den Strukturwandel in der Region aktiv zu gestalten.

**Das vorliegende Dokument ist einer von fünf Aktionsplänen, die als Basis für den REVIERKOMPASS dienen. Alle sechs Dokumente bauen auf einem mehrjährigen Entwicklungsprozess auf und stellen die zentralen Erkenntnisse und die empfohlene Schwerpunktsetzung dar.**

Gefördert aus Mitteln der Bundesrepublik Deutschland, des Freistaates Sachsen, des Landes Sachsen-Anhalt und des Freistaates Thüringen im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe: „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsinfrastruktur“.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz



Freistaat  
SACHSEN



SACHSEN-ANHALT



Freistaat  
Thüringen

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
1.1	Überblick zum Gesamtprojekt.....	6
1.2	Einordnung des Handlungsfeldes.....	8
<b>2.</b>	<b>Schlussfolgerungen aus den Studien.....</b>	<b>10</b>
2.1	<b>Kernerkenntnisse .....</b>	<b>10</b>
	Stromerzeugung .....	10
	Wärmeerzeugung und -speicherung.....	11
	Grüner Wasserstoff/Sektorenkopplung.....	11
2.2	<b>Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>12</b>
	Stromerzeugung & Grüne Gase .....	12
	Wärmeerzeugung und -speicherung.....	16
	Fazit .....	17
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse der Einzelstudien im Überblick .....</b>	<b>18</b>
3.1	<b>Energiekonzept IRMD .....</b>	<b>18</b>
	Bearbeitung.....	18
	Motivation .....	18
	Bestandsaufnahme .....	18
	Potenziale .....	21
	Großkraftwerke .....	21
	Windenergie .....	22
	Photovoltaik .....	22
	Wasserkraft.....	22
	Biomasse sowie Deponie- und Klärgas .....	23
	Szenarien bis 2040 .....	25
3.2	<b>Seethermie .....</b>	<b>28</b>
	Bearbeitung.....	28
	Motivation.....	28
	Methode.....	29
	Ergebnisse.....	29
	Gewässerökologische Bewertung .....	30
	Genehmigungsfähigkeit .....	32
	Übertragbarkeit .....	33
	Ausblick .....	34
3.3	<b>aquistore.....</b>	<b>36</b>
	Motivation.....	36
	Aquiferatlas.....	37
	Ergebnisse.....	38
	Weitere Ergebnisse .....	40
	Ausblick .....	43

# 1. Einleitung

## 1.1 Überblick zum Gesamtprojekt

Das Mitteldeutsche Revier im Dreiländereck von Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen steht aufgrund klimapolitischer Ziele mit einem Ausstieg aus der Braunkohleverstromung vor neuen wirtschaftlichen Herausforderungen. Um diesen Prozess aktiv und zukunftsorientiert zu gestalten, wurde bereits 2016 unter dem Dach der Europäischen Metropolregion Mitteldeutschland die Projektgruppe „Innovation im Revier“ von regionalen Akteuren gegründet. Auf dieser Grundlage schlossen sich im Mai 2018 die Landkreise Altenburger Land, Anhalt-Bitterfeld, Burgenlandkreis, Leipzig, Mansfeld-Südharz, Nordsachsen und Saalekreis sowie die Städte Halle (Saale) und Leipzig per interkommunaler Zweckvereinbarung zum Strukturwandelprojekt „Innovationsregion Mitteldeutschland“ (IRMD) zusammen. ► [Abbildung 1](#)

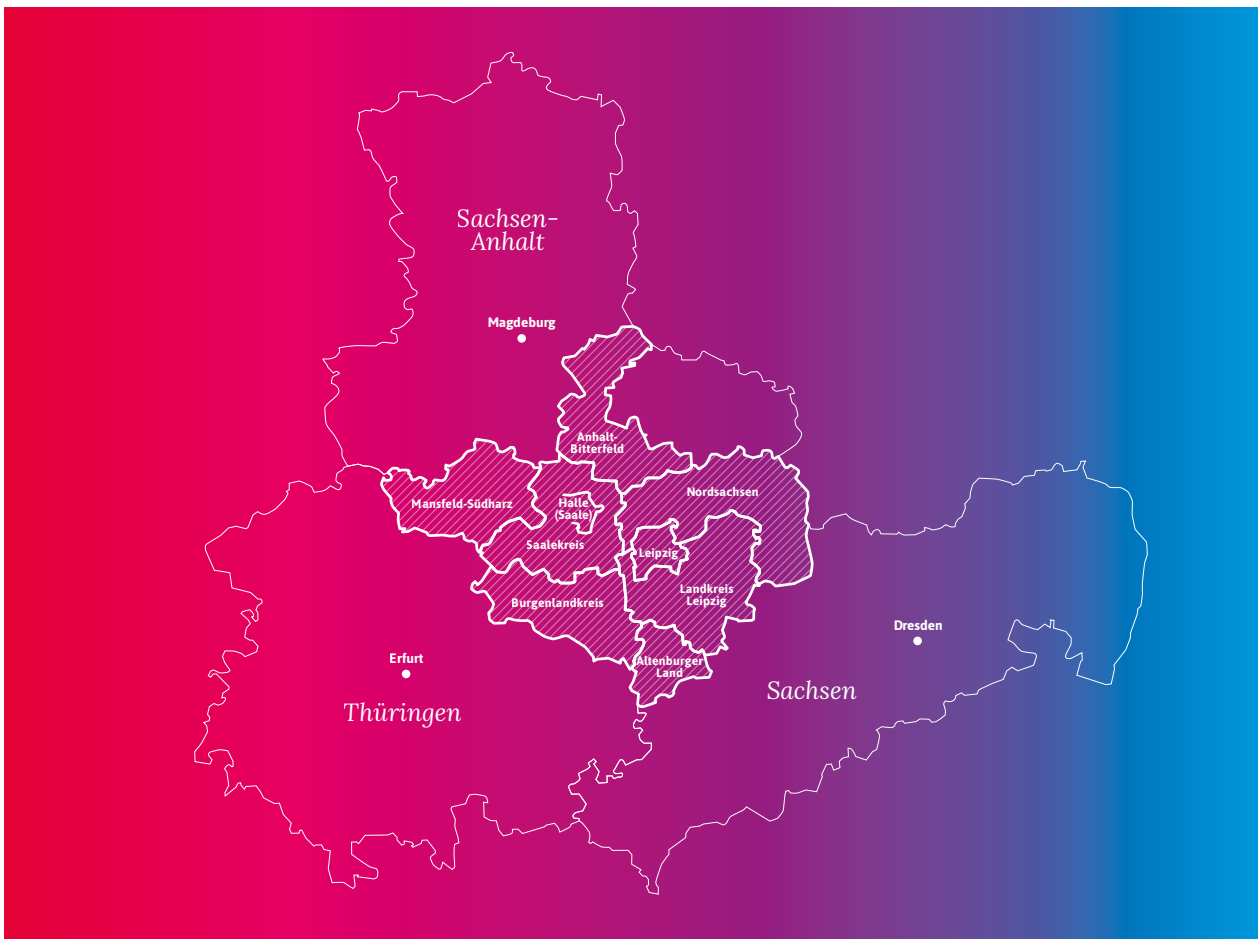


Abbildung 1: Gebietskörperschaften der Innovationsregion Mitteldeutschland (IRMD)

Unter Federführung der Europäischen Metropolregion Mitteldeutschland wurde für die Region mit neun Gebietskörperschaften in drei Bundesländern und zwei Millionen Einwohnern eine neue Strategie mit Projekten für Innovation und Wertschöpfung entwickelt, um den Strukturwandel gemeinsam aktiv zu gestalten<sup>1</sup>. Während die eigenständig initiierten Aktivitäten zur strategischen Ausrichtung des Strukturwandels in der Region bereits liefen, wurde von der Bundesregierung

<sup>1</sup> Das Vorhaben wurde im Rahmen der Bund-Länder-Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Regionalen Wirtschaftsstruktur“ (GRW) nach Experimentierklausel durch den Bund, den Freistaat Sachsen, das Land Sachsen-Anhalt und den Freistaat Thüringen mit 7,2 Mio. EUR gefördert (Gesamtbudget 8 Mio. EUR).

die sogenannte „Kohlekommission“ eingesetzt.<sup>2</sup> Die politische Umsetzung der Empfehlungen der Kohlekommission u. a. in Form von Gesetzen führt nunmehr dazu, dass bis 2038 der Ausstieg aus der Kohleverstromung festgelegt wurde. Aufgrund der kraftwerksbezogenen Festlegungen bedeutet dies für das Mitteldeutsche Revier, dass die Kohleverstromung im Jahr 2035 beendet sein wird.<sup>3</sup>

Das Ziel der am Projekt beteiligten Partner war die Identifizierung alternativer Wertschöpfungs- und Fachkräftepotenziale sowie die Initiierung neuer Innovationsimpulse für die Unternehmen im Mitteldeutschen Revier. Dadurch sollen die Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit der regionalen Wirtschaft gesteigert werden. Dazu wurden fünf Handlungsfelder als positive Treiber für die wirtschaftliche Entwicklung in der Region identifiziert. ► **Abbildung 2** Im Rahmen dieser Handlungsfelder wurden 22 Bedarfsuntersuchungen, Machbarkeitsanalysen und regionalwirtschaftliche Studien durchgeführt. Deren Ergebnisse fließen in eine Gesamtstrategie – den REVIERKOMPASS – zur Gestaltung des Strukturwandels im Mitteldeutschen Revier ein.



**WERTSCHÖPFUNG & INNOVATION**

- Fachkräfte
- Digitalisierung
- Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit
- Innovationslabore
- Flächenmanagement



**RESSOURCEN**

- Kohlenstoffe & Chemie
- Synthetische Kraftstoffe
- Clean Tech
- Rohstoffe



**ENERGIE**

- Erneuerbare Energien
- Dezentrale Stromerzeugung
- Innovative Speicherprojekte
- Sicherung der Wärmeversorgung



**MOBILITÄT & LOGISTIK**

- ÖPNV | Intermodale Verkehre
- Autonomes Fahren
- E-Mobilität
- Alternative Antriebe



**TOURISMUS & KULTUR**

- Touristische Vermarktung
- Kulturregion
- Lebensqualität
- Regionale Identität

**Abbildung 2: Handlungsfelder und Leitthemen**

<sup>2</sup> Abschlussbericht der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ (KWSB), Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin 2019.

<sup>3</sup> SPD, Bündnis90/Die Grünen, FDP, Koalitionsvertrag 2021 - Mehr Fortschritt wagen.

Begleitet wurde der Strategieprozess durch einen mehrstufigen Beteiligungsprozess. Dessen Beginn bildeten neun Zukunftswerkstätten in den Gebietskörperschaften der Region Mitteldeutsches Revier, an denen insgesamt rund 300 Bürgerinnen und Bürger teilnahmen. Die Ergebnisse der einzelnen Zukunftswerkstätten wurden den politischen Akteuren in der Region bereitgestellt und bildeten darüber hinaus eine inhaltliche Grundlage für spätere Beteiligungsformate der einzelnen Gebietskörperschaften und des Landes Sachsen-Anhalt.

Mit der repräsentativen Online-Befragung „Mitteldeutschland-Monitor“ wurde zudem im November 2020 und 2021 ein aktuelles Stimmungsbild der Menschen im Mitteldeutschen Revier zu den Themenkomplexen Strukturwandel, Energiewende und Lebenszufriedenheit erhoben. Die jährliche Trendumfrage wurde gemeinsam mit Vertreterinnen und Vertretern der Gebietskörperschaften und der Bundesländer konzipiert. Die Ergebnisse dienen den politischen Akteuren der Region als eine weitere Grundlage zur Steuerung, Erfolgskontrolle und Kommunikation des Strukturwandelprozesses. ► [www.mitteldeutschland-monitor.de](http://www.mitteldeutschland-monitor.de)

Ein weiteres Beteiligungsformat bildete die inhaltliche Begleitung der 22 Studien zur „Verbesserung der Regionalen Wirtschaftsstruktur“ (GRW) durch Lenkungsausschüsse, in denen insgesamt 300 sachkundige Vertreterinnen und Vertreter aus Unternehmen, Branchennetzwerken, Kammern, Verwaltung und Zivilgesellschaft vertreten waren.

## 1.2 Einordnung des Handlungsfeldes

Die klimapolitischen Ziele der Bundesregierung und der Europäischen Union erfordern einen umfassenden Umbau der Energiesysteme in Deutschland und stellen sowohl die regionalen Unternehmen als auch das Mitteldeutsche Revier insgesamt als traditionsreichen Standort der Energiewirtschaft vor große Herausforderungen. Gleichzeitig verbinden sich mit diesem Transformationsprozess große Potenziale für den Aufbau neuer Wirtschaftskreisläufe in der Region. Um diese zu realisieren, sind folgende Themenfelder von zentraler Bedeutung:

- Erforschung und Einsatz innovativer und dezentraler Speicherlösungen für Strom aus regenerativen Quellen
- Erfassung und Bewertung der verfügbaren Flächenpotenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien in der Region sowie die planungsrechtliche Flächensicherung geeigneter Flächen
- Sicherung der Energieversorgung für energieintensive Industrien durch zentrale und dezentrale Systemlösungen zur Stromproduktion
- Sicherung der Wärmeversorgung nach dem Wegfall der Braunkohlekraftwerke durch alternative Ansätze (Nahwärmenetze, thermische Seewassernutzung) einschließlich der langfristigen Umstellung aller Wärmesysteme auf erneuerbare Energien

Im vorliegenden Aktionsplan zum Handlungsfeld Energie werden die zentralen Ergebnisse und die daraus vom Team der Europäischen Metropolregion Mitteldeutschland abgeleiteten Schlussfolgerungen folgender Studien dargestellt:

- **Energiekonzept IRMD – Bestandsaufnahme, Potenziale, Szenarien bis 2040 für die Innovationsregion Mitteldeutschland:** Inhalt der Studie ist zunächst eine zusammenfassende Bestandsaufnahme für die IRMD, wobei die Energieerzeugung der installierten Anlagen identifiziert, deren energetischer Output (Strom-/Wärmeerzeugung) bestimmt sowie der derzeitige Strom- und Wärmeverbrauch nach relevanten Verbrauchergruppen ermittelt wird. Basierend auf dieser Ist-Analyse werden Szenarien für den Energiebedarf bis zum Jahr 2040 erstellt sowie Potenziale und



Maßnahmen für eine sichere und weitgehend emissionsfreie Strom- und Wärmeversorgung ermittelt und diskutiert. Durch den Abgleich von Energiebedarf und -erzeugung können darüber hinaus benötigte Speicherkapazitäten und/oder Stromimporte bestimmt werden. Abschließend werden die Treibhausgas(THG)-Minderungen der Szenarien für das Jahr 2040 dargestellt.

- ▶ **Potenzialstudie Grüne Gase – Analyse und Bewertung der Potenziale von Grünen Gasen in der Innovationsregion Mitteldeutschland:** Die Potenzialstudie Grüne Gase wird vorwiegend dem Handlungsfeld Ressourcen zugeordnet und im entsprechenden Aktionsplan behandelt, hat aber einen engen Bezug zum Handlungsfeld Energie.
- ▶ **Seethermie – Innovative Wärmeversorgung aus Tagebaurestseen:** Im Rahmen der Studie wurden die Nutzungsoptionen von Seethermie anhand des exemplarischen Standortes eines künftigen Quartiers am Nordufer des Zwenkauer Sees im Südraum von Leipzig untersucht. Dabei wurden umfangreiche einjährige Untersuchungen am Gewässerkörper, seinen saisonalen Temperaturschichtungen und deren Beeinflussungen durchgeführt und mögliche Auswirkungen der Entnahme und Rückführung von Wasser für eine Wärmeversorgung des Quartiers auf die Limnologie des Sees untersucht. Infolge dieser Erhebungen wurde eine technologische Konfiguration für ein Wärmeversorgungssystem entwickelt, deren Wirtschaftlichkeit optimiert sowie die Genehmigungsfähigkeit und die ökologischen Auswirkungen (CO<sub>2</sub>-Footprint) des Gesamtsystems untersucht.
- ▶ **aquistore – Adaption von Technologien saisonaler geogener Wärmespeicher auf die Aquifere der Innovationsregion:** Mit dem Vorhaben aquistore wird das Ziel verfolgt, die einzigartigen Potenziale vorhandener Lockergesteins-Grundwasserleiter für eine nachhaltige geogene saisonale Wärme- und Kältespeicherung erschließen zu helfen. Die Nutzung der Aquifere des tertiären „Weißelsterbeckens“ und des Quartärs in der Region stellt dabei eine innovative Option dar. Als ‚Umsetzungsstudie‘ angelegt, wird im Rahmen von aquistore der nationale/internationale Kenntnisstand ausgewertet, regional angepasst und verfügbar gemacht. Zudem werden spezielle Fragestellungen zur generellen Machbarkeit beantwortet, die für eine prinzipielle Herstellung der Wirksamkeit und Genehmigungsfähigkeit von Aquiferspeichern im Mitteldeutschen Revier unabdingbar sind.

Für darüber hinausgehende Ergebnisse und Schlussfolgerungen wird auf die anderen Handlungsfeldberichte und den REVIERKOMPASS verwiesen.

## 2. Schlussfolgerungen aus den Studien

### 2.1 Kernerkenntnisse

#### Stromerzeugung

Durch den geplanten energetischen Ausstieg aus der Braunkohle (voraussichtlich bis zum Jahr 2038 bzw. bis 2035 im Mitteldeutschen Revier) müssen erhebliche Energiemengen zur Stromerzeugung – zumindest zum Teil – durch andere Energieträger substituiert werden; idealerweise auf Basis erneuerbarer Energien. Zur Stromerzeugung in Großkraftwerken wurden im Jahr 2018 zu 83 % Braunkohle, zu 13 % Erdgas und zu 2 % Heizöl sowie weitere Brennstoffe eingesetzt. Insgesamt müssen ca. 17.092 GWh Braunkohlestrom in folgenden Landkreisen (LK) des Mitteldeutschen Reviers substituiert werden:

- ▶ LK Mansfeld-Südharz: 1 Anlage | 45 MW<sub>el</sub> | 225 GWh
- ▶ Saalekreis: 2 Anlagen | 900 MW<sub>el</sub> | 4.314 GWh
- ▶ Burgenlandkreis: 4 Anlagen | 139 MW<sub>el</sub> | 647 GWh
- ▶ LK Leipzig: 2 Anlagen | 1.750 MW<sub>el</sub> | 11.906 GWh

Dabei werden aufgrund der geografischen Voraussetzungen im Mitteldeutschen Revier vorwiegend Windenergie und Photovoltaik eine große Rolle spielen, wobei dies – wegen deren Volatilität – durch den Einsatz von Stromspeichern umfangreich unterstützt werden muss.

Von besonderer Wichtigkeit sollten auch Gastechnologien sein, da das im Gasnetz vorhandene Erdgas sukzessiv durch erneuerbares Gas aus Power-to-Gas-Prozessen und Biomethan aus Biogasanlagen ersetzt sowie bei Bedarf rückverstromt werden soll.

Hinsichtlich des Ausbaus erneuerbarer Energien zeigt sich, dass selbst bei 100 % Ausschöpfung des vorhandenen Ausbaupotenzials die Stromerzeugung aus Windenergie im Mitteldeutschen Revier bis zum Jahr 2040 rückläufig wäre. Viele der derzeitigen Bestandsanlagen werden voraussichtlich bis 2040 aufgrund ihres Alters (deutlich über 20 Jahre) außer Betrieb genommen. Ein Repowering ist nur teilweise möglich, da sich viele dieser Anlagen außerhalb der derzeit ausgewiesenen Vorrang- und Eignungsgebiete zur Windenergienutzung befinden. Das Potenzial bisher neu ausgewiesener Flächen kann dies nicht kompensieren. Die Installation und der Betrieb von Windenergieanlagen im Wald sind zudem derzeit in der Region nicht zulässig. Aus diesen aktuellen Rahmenbedingungen resultiert eine steigende Bedeutung des Ausbaus der Photovoltaik (PV), deren Potenzial erst zu 13 % ausgeschöpft ist. Dabei sollten Zukunftstechnologien, wie Agri- und Floating-PV, in ihrer Entwicklung vorangetrieben werden.

Darüber hinaus kann die konventionelle Stromerzeugung durch die energetische Nutzung von Biomasse (insbesondere Biogas), Abfall sowie Deponie- und Klärgas zum Teil substituiert werden. Dafür ist die effiziente energetische und stoffliche Reststoffnutzung zu forcieren.

Zentrales Ergebnis der durchgeführten Studien ist, dass unter idealen Ausbauszenarien die Deckung des Strombedarfs bis 2040 in der Region zu 86 % aus erneuerbaren Energien möglich ist. Unwägbarkeiten hierzu stellen jedoch die tatsächlich realisierten Ausbaupotenziale dar, da hierfür noch erhebliche Flächensicherungen im Rahmen der Regionalplanung vorgenommen werden müssen. Die längerfristige regionale Deckung des Strombedarfs ist weniger ein technisches Problem als ein Verfügbarkeitsproblem von planungsrechtlich gesicherten Flächen.

## Wärmeerzeugung und -speicherung

Fernwärme wird im Mitteldeutschen Revier vorwiegend als Koppelprodukt aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gewonnen. Fast jede vierte Wohnung hing in Ostdeutschland einst am Fernwärmenetz, während es im Westen lediglich 9% waren. Voraussetzung für die Sicherung der Fernwärmeerzeugung ohne Braunkohle ist auch hier die Integration der erneuerbaren Energien sowie von Power-to-Heat-Technologien in die Wärmeversorgungskonzepte. Erste Schritte werden hierfür aktuell beispielsweise mit der Inbetriebnahme von Solarthermie-Anlagen oder in Form der Planung von Seethermieprojekten bereits unternommen.

Bezüglich der Wärmeversorgung könnte die Anpassung der Heizsysteme an sogenannte „kalte“ Medien (verlustarme Bereitstellung der Wärmemengen durch große Volumina) eine Lösung sein, welche effizient aus regenerativen bzw. sekundären Quellen und Speichern gespeist werden. Vor allem mit der Kombination von Solarthermie mit saisonalen Großwärmespeichern zur Langzeitspeicherung von Überschusswärme im Sommer können Deckungsgrade von 40% und mehr erreicht werden. Innerhalb der IRMD sind in den Städten Halle (Saale) und Leipzig größere Solarthermieanlagen geplant bzw. bereits in Betrieb. So ist bereits im Jahr 2019 eine Anlage mit 3,3 MW<sup>th</sup> Leistung in der Stadt Halle in Betrieb genommen worden. In Leipzig Süd sollen 35 MW<sup>th</sup> und in Leipzig West 4 MW<sup>th</sup> errichtet werden.

Die Ergebnisse der Seethermie-Studie zeigen zudem, dass die thermische Seewassernutzung in Kombination mit der Vakuum-Flüssigeis-Technologie und einem „kalten Nahwärmenetz“ einen Beitrag zum Versorgungsmix einer dekarbonisierten Wärmeversorgung leisten kann. Demnach besitzen allein die Seen des Leipziger Neuseenlands und andere geflutete Tagebaue das Potenzial, um ca. 4 GW<sup>th</sup> zur Nahwärmeversorgung bereitzustellen. Bis zum Jahr 2022 soll das Projekt „Saale-to-Heat“ umgesetzt werden. Der erste Schritt war die Inbetriebnahme einer Solarthermie-Anlage mit 3,3 MW<sup>th</sup> Ende 2019. Als Nächstes ist die Flusswärmenutzung und Einbindung der Wärmeenergie aus der Saale in die Fernwärmeversorgung der Stadt Halle geplant.

Darüber hinaus wird mit dem Vorhaben aquistore das Ziel verfolgt, die Potenziale vorhandener Lockergesteins-Grundwasserleiter in der IRMD für eine nachhaltige geogene saisonale Wärme- und Kältespeicherung erschließen zu helfen. Im Landkreis Mansfeld-Südharz untersucht zudem eine Planungsgruppe die energetische Nutzung von Grubenwasser in ehemaligen Schächten des Kupferbergbaus.

## Grüner Wasserstoff/Sektorenkopplung

Da Wärme- und Verkehrssektor hinsichtlich des Einsatzes erneuerbarer Energien gegenüber dem Stromsektor bisher enorm zurückbleiben, ist auch die Betrachtung der Sektorenkopplung mittels Power-to-Gas (Wärme/Gase) und Power-to-Liquid (Verkehr/Kraftstoffe) von großer Bedeutung. Grund dafür ist, dass diesen Sektoren keine vergleichbaren EE-Technologien (Windenergie- und PV-Anlagen) wie dem Stromsektor zur Verfügung stehen bzw. die gegenwärtigen Speichersysteme (Batterien) nur eingeschränkt in diesen Sektoren einsetzbar sind. Daher muss durch grünem Wind- und Solarstrom per Elektrolyse von Wasser grüner Wasserstoff (H<sub>2</sub>) hergestellt werden, welcher stofflich wie energetisch genutzt und/oder wiederum per Reaktion mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zu grünem Methan (per Methanisierung/Sabatier-Prozess) und grünen Kraftstoffen (per Methanol- und/oder Fischer-Tropsch-Synthese) weiterverarbeitet werden kann.

Wasserstoff wird aktuell in der Region ausschließlich stofflich verwendet und stellt hier vor allem in der Rohölverarbeitung und Methanolherstellung (TotalEnergies Raffinerie Mitteldeutschland GmbH) sowie für die Ammoniakherstellung (SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH) einen wichtigen Rohstoff dar. Das Angebot wird in der Region derzeit überwiegend konventionell durch Dampfreformierung hergestellt (sog. „grauer“ Wasserstoff). Die Dampfreformierungsanlagen in

Leuna sowie das bestehende Pipelinenetz werden von der Linde AG betrieben. Zusätzlich bestehen aus der IRMD heraus feste Lieferbeziehungen zur Air Liquide Deutschland GmbH, welche in Westdeutschland Wasserstoff produziert und mittels Lkw-Tanks nach Mitteldeutschland an Industriekunden liefert. Zukünftig gilt es, den grauen Wasserstoff durch nachhaltigere Alternativen (grüner, türkiser, blauer Wasserstoff) zu substituieren, um CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.

In Deutschland gibt es aktuell nur drei Pipelines, die ausschließlich für den Transport von Wasserstoff errichtet wurden. Eine davon liegt inmitten des mitteldeutschen Chemiedreiecks, weist eine Länge von ca. 144 km auf und verbindet die Chemiestandorte von Zeitz über Böhlen, Leuna, Schkopau, Bitterfeld-Wolfen bis Rodleben. Zu den umrüstbaren Infrastrukturen in der IRMD zählen zudem die bislang für die Speicherung von Erdgas genutzten Salzkavernen, die sich auch für die Speicherung von Wasserstoff eignen.

## 2.2 Handlungsempfehlungen

### Stromerzeugung & Grüne Gase

Bei einer weiterführenden konventionellen Stromerzeugung für einen Übergangszeitraum, insbesondere aus Erdgas, aber auch Braunkohle bis zum Jahr 2035 (idealerweise bis 2030 gemäß den Zielen der Bundesregierung) sind folgende Schwerpunkte zu setzen:

- ▶ Konventionelle Stromerzeugung ausschließlich in KWK-Anlagen
- ▶ Flexibilisierung der KWK mittels Power-to-Heat(PtH)-Anlagen und Wärmespeichern

Da der Ausbau der Windenergie durch diverse Flächenrestriktionen nach derzeitigem Stand nicht in ausreichendem Maße erfolgen kann, muss insbesondere die Photovoltaik einen erheblichen Beitrag zur Energiewende leisten. Somit müsste hier die Regionalplanung einsetzen und gemeinsam mit der Politik dafür sorgen, dass entsprechend Akzeptanz für Flächen zur Installation von Windenergieanlagen (WEA) in der Bevölkerung geschaffen wird.

Zudem muss eine effizientere energetische Nutzung von Biomasse<sup>4</sup>, Abfall sowie Deponie- und Klärgas durch folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- ▶ Effiziente Reststoffnutzung für energetische und stoffliche Nutzung forcieren und Nutzungspotenziale prüfen
- ▶ Ausbau erneuerbarer Gase (Biomethan als auch biogene synthetische erneuerbare Energien(EE)-Gase, u. a. Bio-SNG (Substitute Natural Gas), Wasserstoff) fördern
- ▶ Biomethan-KWK (besonders in urbanen Räumen mit Gasinfrastruktur): Flexibilisierung (z. B. zur Netzstabilisierung) in „klassischer KWK“ (z. B. Wärmespeicher und Nahwärmenetz) und Biomethan-KWK, Bestandteil der „Wärmewende“ (effiziente Strom-Wärme-Systeme), Flexibilität mit hoher Wärmenutzung
- ▶ Biomethan als Kraftstoff (CNG/LNG, perspektivisch Brennstoffzelle), wo elektrische Alternativen schwer realisierbar sind (u. a. Agrar-Kraftstoff, Schifffahrt, Flugverkehr)
- ▶ Biomethan für Industrieprozesse (Prozessdampf), wo Umstellung auf Strom schwierig

<sup>4</sup> Bei der energetischen Nutzung von Biomasse sind – im Sinne der Nachhaltigkeit und höherer Wertschöpfungspotenziale bei einer stofflichen Nutzung – stets die Nutzungskonkurrenzen im Rahmen der Bioökonomie sowie des Anbaus von Lebensmitteln zu beachten.

Einen wichtigen Baustein zur Realisierung der Energiewende sowohl im Sektor Strom als auch in den Sektoren Wärme und Verkehr stellt die Sektorenkopplung u. a. mittels Power-to-X dar:

- ▶ Flexibilisierung der KWK mittels PtH-Anlagen und Wärmespeichern
- ▶ Schaffung von ausreichender Ladeinfrastruktur für den Hochlauf der Elektromobilität
- ▶ Flexible Einbindung der Wasserstoff-Elektrolyse
- ▶ Nutzung und Erweiterung der bestehenden Wasserstoff- und Erdgas-Infrastruktur (Pipelines, Kavernen) bei Hochlauf des grünen Wasserstoffs

Da die Potenziale für Biomasse, Wasserkraft, Geothermie u. a. in Deutschland generell sehr begrenzt sind, liegt der Fokus dabei insbesondere auf der Windenergie und Photovoltaik. Allerdings sind auch diese Technologien in der sich im Binnenland befindlichen IRMD nicht so effizient anwendbar wie in anderen Regionen Deutschlands. So beträgt die Volllaststundenzahl (VLh) für Windenergieanlagen (WEA) im Binnenland lediglich ca. 1.800 VLh, während Onshore-WEA z. B. in Küstennähe/Norddeutschland bis zu 3.200 VLh und Offshore-WEA in der Nordsee von 3.200 VLh (küstennah) bis zu 4.500 VLh (küstenfern) erreichen können.

Ähnlich verhält es sich in dieser Region bei Photovoltaikanlagen (PVA). Während diese im Süden Deutschlands bis zu 1.300 VLh erreichen, beträgt die Volllaststundenzahl im bundesdeutschen Durchschnitt nur 900 bis 1.000 VLh.

Um mit diesen fluktuierenden Energiequellen grundlastfähige Kraftwerke, z. B. auf Basis von Braunkohle oder Erdgas, substituieren zu können, muss der Ausbau von WEA in dieser Region insbesondere gegenüber Norddeutschland sowie von PVA insbesondere gegenüber Süddeutschland in erheblich höherem Maße erfolgen.

Innerhalb der IRMD gibt es bereits Beispiele für geplante und/oder in der Umsetzung befindliche Projekte:

- ▶ **Energiepark Witznitz (LK Leipzig)** Die MOVE ON Energy GmbH plant im Landkreis Leipzig einen der größten, nicht staatlich geförderten Solarparks Europas mit einer installierten Leistung von 605 MW<sub>p</sub>.
- ▶ **Energiepark Zerbst (LK Anhalt-Bitterfeld)** Auf dem ehemaligen Militärflugplatz Zerbst betreibt die GETEC Energie Holding GmbH eine Bioraffinerie mit einer Leistung von 3 MW<sub>el</sub> und in Zusammenarbeit mit Q-Cells (heute Hanwha Q Cells GmbH) einen Solarpark mit einer Leistung von 46 MW<sub>p</sub>. Ende 2015 wurde darüber hinaus ein Windpark mit 30 MW<sub>el</sub> in Betrieb genommen.
- ▶ **H<sub>2</sub>-Energiepark Borna (LK Leipzig)** Die Städtischen Werke Borna planen eine PV-Freiflächenanlage mit einer Leistung von 557 MW<sub>p</sub>, deren Grünstrom auch zur Herstellung von und zur Versorgung der Region mit grünem Wasserstoff dienen soll. Damit kann der Energiepark nahezu an die Bedeutung des Energieparks Witznitz anschließen.
- ▶ **Solarpark Leuna (Saalekreis)** Die InfraLeuna GmbH plant am Chemiepark Leuna einen Solarpark mit einer Leistung von 45 MW<sub>p</sub>. Die Total Energies Raffinerie Mitteldeutschland sowie die Linde AG planen bereits, mit dem grünen Strom Wasserstoff als Ausgangsstoff für Chemie- und auch Kraftstoffprodukte herzustellen.
- ▶ **Windpark Breunsdorf (LK Leipzig)** Die MIBRAG investiert auf der Rekultivierungsfläche des Tagebaus Vereinigtes Schleenhain 100 Mio. EUR in 15 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von insgesamt 90 MW. Ab dem Jahr 2024 soll damit eine jährliche Einspeiseleistung von 205 GWh zur Verfügung gestellt und damit 90.000 Haushalte mit Strom versorgt bzw. alternativ per Elektrolyse 4.100 t Wasserstoff generiert werden.

Dabei reicht es aber noch lange nicht, die erforderlichen Wind- und Solarparks nur soweit auszubauen, um den Bedarf des Stromsektors zu decken. Denn der Grünstrom wird weiterhin benötigt, um mittels Power-to-Gas (PtG; ► [Abbildung 3](#)) grünen Wasserstoff und erneuerbares Methan zur Rückverstromung und/oder als Brennstoff im Wärmesektor sowie mittels Power-to-Liquide (PtL; ► [Abbildung 4](#)) zur Herstellung und zum Einsatz als erneuerbare Treibstoffe im Verkehrssektor zu nutzen. Dafür müssen die Erzeugungskapazitäten der EE-Anlagen wegen der PtG- und PtL-Wirkungsgradverluste von ca. 40 bis 60 % nochmals erheblich vervielfacht werden. Gerade im Wärmesektor muss daher schon jetzt ein Umstieg auf Gastechnologien erfolgen, um das derzeit verwendete Erdgas sukzessive durch grünen Wasserstoff und erneuerbares Methan zu ersetzen. Wichtig dabei ist, die Wasserstoffinfrastruktur im Mitteldeutschen Revier<sup>5</sup> weiter zu entwickeln.

### Power-to-X

Eine **Power-to-Gas(PtG)**-Anlage dient zur Umwandlung elektrischer in chemische Energie, um eine Langzeitspeicherung von Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien zu realisieren. Der von Windenergie- bzw. Photovoltaikanlagen erzeugte fluktuierende Strom wird über einen Transformator und einen Gleichrichter in den Elektrolyseur eingespeist. Gleichzeitig wird Speisewasser aus einem Tank einen Elektrolytfilter passierend dem Elektrolyseur zugeführt, worin mithilfe elektrischer Energie eine Spaltung von Wasser (H<sub>2</sub>O) in **Wasserstoff (H<sub>2</sub>)** und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) erfolgt. Die dabei frei werdende Wärme wird mittels Wärmeübertrager in einem Wärmespeicher gespeichert, um diese für weitere Prozesse nutzbar machen zu können. Im Elektrolyseur sind für beide Produktgase (H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>) Gasabscheider installiert, um die Gase voneinander zu trennen. Für den PtG-Prozess ist lediglich eine Weiterverwendung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) erforderlich. Nach dem Abscheiden des H<sub>2</sub> folgt die Gasreinigung einschließlich Gastrocknung, bei der im Gasabscheider unvollständig abgetrennter Sauerstoff (O<sub>2</sub>) entfernt wird. Anschließend kann das H<sub>2</sub> gespeichert oder direkt ins Gasnetz eingespeist werden. Eine zweite Option stellt die Möglichkeit dar, H<sub>2</sub> in einem weiteren Prozessschritt mithilfe von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) mittels sog. Sabatier-Prozess in Vergasungsreaktoren zu methanisieren und nach einer darauffolgenden Gastrocknung und Konditionierung in Form von erneuerbarem **Methan (CH<sub>4</sub>)** mit Erdgasqualität ins Gasnetz einzuspeisen.

Bei einer **Power-to-Liquid(PtL)**-Anlage wird der aus der Elektrolyse gewonnene grüne Wasserstoff (H<sub>2</sub>) hingegen ebenfalls mithilfe von Kohlendioxid/-monoxid (CO<sub>2</sub>/CO) mittels sog. Methanolsynthese zu **Methanol (CH<sub>3</sub>OH)** oder mittels Fischer-Tropsch-Synthese zu langkettigen **Kohlenwasserstoffen (z. B. C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>)** umgesetzt, sodass diese flüssigen Produkte als Kraftstoffe im Verkehrssektor oder als Edukte in der chemischen Industrie verwendet werden können.

In einer weitgehend dekarbonisierten Energiewirtschaft kann das benötigte CO<sub>2</sub> idealerweise aus **Biogasanlagen (BGA)** gewonnen werden. Biogas besteht zu ca. 55 % aus CH<sub>4</sub> und zu ca. 45 % aus CO<sub>2</sub>. Nach der Abscheidung des CO<sub>2</sub> (und Nutzung für PtX-Prozesse) wird das zu **Biomethan** aufbereitete Biogas ebenfalls mit Erdgasqualität ins Gasnetz eingespeist.

Als **Power-to-Heat(PtH)**-Anlage dient in der Regel ein Elektrokessel oder eine Wärmepumpe, wobei der EE-Strom direkt in Wärme umgewandelt wird.

Methanisierung (PtG):	$4 \text{ H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$
Methanolsynthese (PtL):	$3 \text{ H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$
Fischer-Tropsch-Synthese (PtL):	$(2n+1) \text{ H}_2 + n \text{ CO} \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + n \text{ H}_2\text{O}$

<sup>5</sup> Im Zuge dessen haben die Metropolregion Mitteldeutschland und HYPOS mit den Partnern BMW Group Werk Leipzig, ONTRAS, Siemens, MITNETZ Gas, VNG, Südzucker Werk Zeitz, Leipzig-Halle Airport, MIBRAG, Leipziger Gruppe, Stadtwerke Halle, Stadt Leipzig, DHL und eins energie eine Machbarkeitsstudie „Wasserstoffnetz Mitteldeutschland“ erstellen lassen. Darin werden Wasserstoffbedarfe und -quellen entlang der mitteldeutschen Wasserstoff-Pipeline identifiziert; darauf aufbauend wird eine Dimensionierung zur Erweiterung der Pipeline zu einem in sich geschlossenen Wasserstoffnetz vorgenommen.

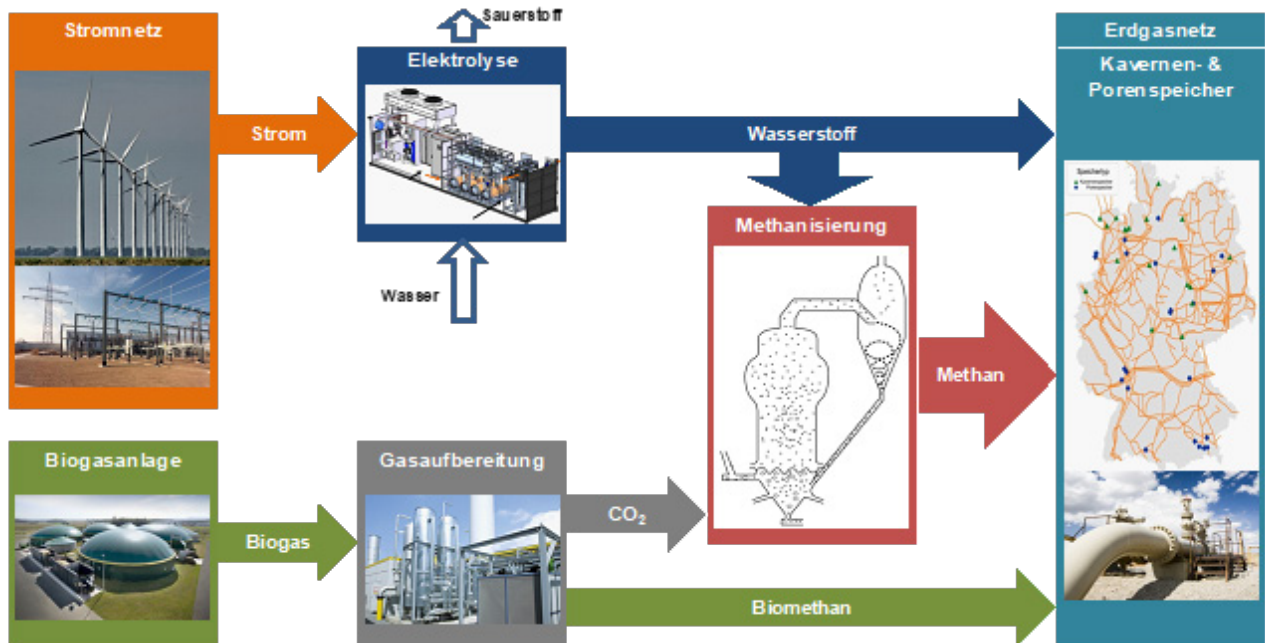


Abbildung 3: Schema „Power-to-Gas“

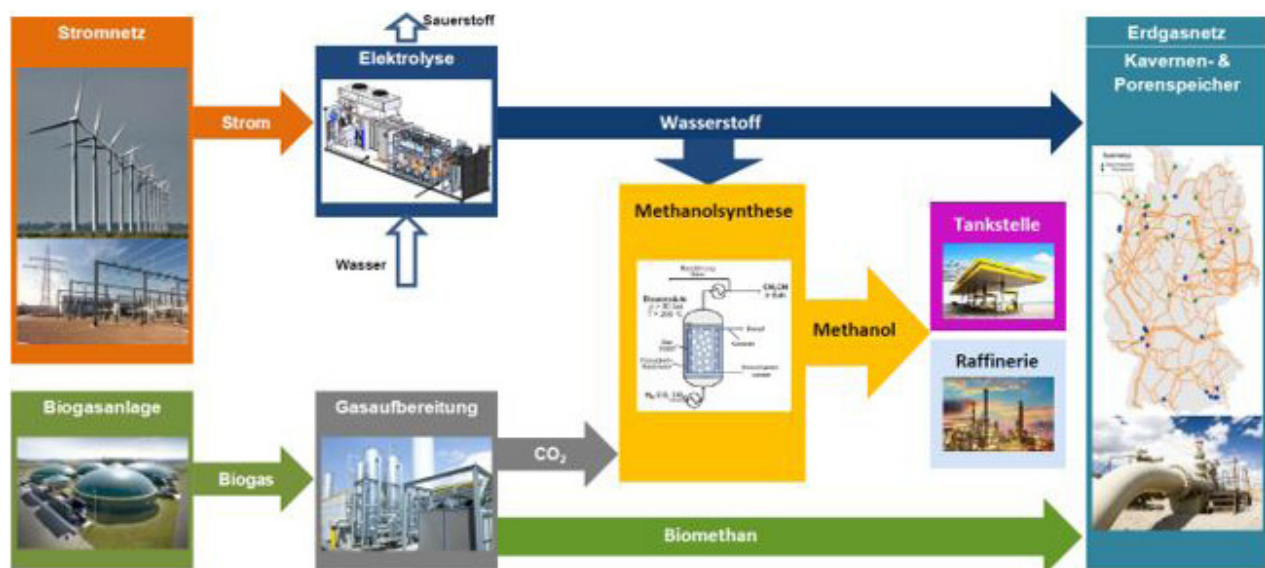


Abbildung 4: Schema „Power-to-Liquid“

## Wärmeerzeugung und -speicherung

Wie im Stromsektor muss auch im Wärmesektor auf einen ausgewogenen Energieträger- und Technologiemix gesetzt werden (Erdgas-/Heizöl-Blockheizkraftwerk(BHKW), Biomasse-/Biogas-BHKW, Solarthermie, Geothermie/Großwärmepumpen etc.), ergänzt durch Wärmespeicher (Pufferspeicher, Aquifere etc.), welche ebenfalls parallel zu den erneuerbaren Energien im großen Stil ausgebaut werden müssen.

Dabei gelten die im Kapitel „Stromerzeugung & Grüne Gase“ gemachten Aussagen – insbesondere die energetische Nutzung von Biomasse, Abfall sowie Deponie- und Klärgas, aber auch Power-to-Gas – z. T. ebenso für den Wärmesektor.

Darüber hinaus können die lokaltypischen Potenziale der Bergbaufolgeseen (Seethermie) in der Region bei der energetischen Transition eine wichtige Rolle spielen, wenn es gelingt, die Ergebnisse der Seethermie-Studie in einen Roll-out zu überführen und dafür alle relevanten Stakeholder zu aktivieren. Dafür sind folgende Handlungsschwerpunkte zu setzen:

- ▶ Positive Kommunikation der Ergebnisse: umweltfreundliches, energetisches Potenzial, das mithilfe der in Mitteldeutschland ansässigen Ingenieurskompetenz und der an der Transformation beteiligten Strukturen als Chance für einen erfolgreichen Strukturwandel genutzt wird
- ▶ Installation und Betrieb eines Piloten: Sowohl die Vakuum-Flüssigeis-Anlage als auch ihre Anwendung für die seethermische Nutzung ist eine grundsätzlich anwendungsreife Technologie. Die Errichtung eines Piloten hilft Restfragen, z. B. bei der Fahrweise, zu klären, die Wirtschaftlichkeit an der existierenden Anlage nachzuweisen, öffentliches Interesse zu wecken sowie Investoren und Multiplikatoren einzuwerben.
- ▶ Gezielte transdisziplinäre Forschung und Entwicklung: Zeitnah sollten mit den Forschungsinstitutionen der Region und den Treibern der Energiewende umsetzungsorientierte Forschungsfragen für die Seethermie detektiert werden.

Die weite Verbreitung von Aquiferen (aquistore) innerhalb der IRMD, mit einem Flächenanteil von etwa 40 % und eine teilweise Überdeckung mit mehreren Grundwasserleiterkomplexen, eröffnet die Möglichkeiten weitflächiger Anwendungen saisonaler geogener Wärmespeicherung in der IRMD oder lokal in mehreren übereinanderliegenden Stockwerken, weshalb auch hier ähnliche Schwerpunkte gelten:

- ▶ Positive Kommunikation der Ergebnisse: umweltfreundliches, energetisches Speicherpotenzial, das mithilfe der in Mitteldeutschland ansässigen Ingenieurskompetenz und den an der Transformation beteiligten Stakeholdern als Chance und Beitrag für einen erfolgreichen Strukturwandel genutzt wird
- ▶ Angehen von Umsetzungsprojekten: Die im Rahmen der Studie aufgenommenen Gespräche mit potenziellen Investoren sind zu vertiefen und Machbarkeitsstudien einzuleiten (dafür Förderungen zugänglich machen). Weitere Interessenten sind zu detektieren und motivieren. Bei Vorplanungen zu Grundwasserspeichern für thermische Energie, sogenannten Aquifer thermal energy storages (ATES), sind die Fachbehörden frühzeitig einzubeziehen und Umsetzungsprojekte zu monitoren (Technik/Fahrweise, Wirtschaftlichkeit etc.).
- ▶ Bereitstellung des Aquiferatlas als interaktive Karte: Die öffentliche Bereitstellung des im Rahmen der Studie erstellten Atlas als interaktive Karte über ein Web-Geoinformationssystem (GIS) ist ein wichtiger Schritt für einen Roll-out der Technologie. Hier kann der User über triviale GIS-Funktionen Standorte bezüglich des Vorhandenseins von Grundwasserleiterkomplexen genauer abfragen, die seiner Wärme-/Kälteeinspeicherung entsprechend geeignet sind.



## Fazit

Grund für den Ausstieg aus der energetischen Braunkohlenutzung ist das übergeordnete Ziel einer Dekarbonisierung als wichtigster Baustein des Klimaschutzes. Um den Wegfall der Braunkohleverstromung im Mitteldeutschen Revier kompensieren zu können, muss – wie bereits erörtert – ein zügiger und großflächiger Ausbau erneuerbarer Energien erfolgen.

Dabei sind aufgrund der begrenzten Erzeugungspotenziale insbesondere im Mitteldeutschen Revier Projekte voranzutreiben, die den Bau von Wind- und Solarparks mit möglichst hoher installierter elektrischer Leistung forcieren. Über die üblichen PV-Freiflächenanlagen hinaus sollte auch auf die Zukunftstechnologien Agri-PV und Floating-PV sowie die großräumige Integration kleinerer PV-Module auf Dächern und in Gebäudefassaden gesetzt werden.

Während der EE-Ausbau erfolgt, bedarf es innerhalb dieser Transformationsphase ein ausgewogenen Mixes der Stromerzeugung sowohl aus fossilen Kraftwerken (Kohle, Erdgas, Heizöl, Müll etc.) als auch aus EE-Anlagen (Windenergie, Photovoltaik, Biomasse/Biogas, Geothermie, Wasserkraft, Deponie- und Klärgas etc.) ergänzt durch Stromspeicher (Pumpwasser-, Druckluft- und Großbatteriespeicher etc.), welche ebenfalls parallel zu den erneuerbaren Energien im großen Umfang ausgebaut werden müssen.

Neben der Deckung des Strombedarfs der regionalen Unternehmen und privaten Haushalte, ergeben sich zukünftig in erheblichem Umfang zusätzliche Bedarfe an Grünstrom aus Wind- und Photovoltaik durch die geplante Nutzung im Wärme- und Verkehrssektor. Dieser dient auch dazu, mittels Sektorkopplung/Power-to-X den erneuerbaren Anteil im Stromsektor in den Wärme- und Verkehrssektor zu transformieren. Nur so kann – nach derzeitigem Stand der Technik – der Wegfall der grundlastfähigen Strom- und Fernwärmeerzeugung aus der Braunkohle ausgeglichen werden.

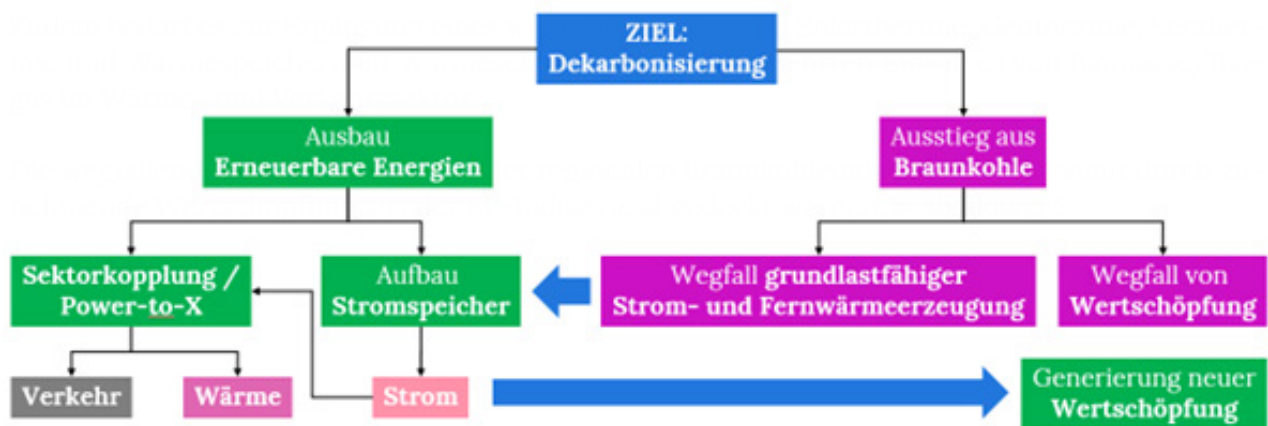


Abbildung 5: Energiewirtschaftlicher Strukturwandel im Mitteldeutschen Revier

## 3. Ergebnisse der Einzelstudien im Überblick

### 3.1 Energiekonzept IRMD

#### Bearbeitung

Die nachfolgenden Inhalte sind der Kurzfassung der Studie entnommen, welche von folgendem Konsortium erstellt wurde:

- ▶ Leipziger Institut für Energie GmbH
- ▶ r2b energy consulting GmbH
- ▶ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH

#### Motivation

Die vorliegende Studie ist ein wichtiger Ausgangspunkt für die strategische Ausgestaltung eines energetischen Zukunftsbildes der Region. Aufgabe der Studie „Energiekonzept IRMD“ ist zunächst eine zusammenfassende Bestandsaufnahme für die IRMD, welche die Energieerzeugung der installierten Anlagen identifiziert, deren energetischen Output (Strom- /Wärmeerzeugung) bestimmt sowie den derzeitigen Strom- und Wärmeverbrauch nach relevanten Verbrauchergruppen ermittelt. Basierend auf der Ist-Analyse werden Szenarien bis zum Jahr 2040 erstellt sowie Potenziale und Maßnahmen für eine sichere und weitgehend emissionsfreie Strom- und Wärmeversorgung ermittelt und diskutiert.

Die Studie wird durch ein Konsortium von Fachbüros unter der Federführung der Leipziger Institut für Energie GmbH (IE Leipzig) erarbeitet, die entsprechend ihren spezifischen Erfahrungen und Kompetenzen zu den Bausteinen beigetragen haben. Das IE Leipzig führt für die Themenschwerpunkte Windenergie, Photovoltaik, Wasserkraft, Blockheizkraftwerke sowie Strom- und Wärmeverbrauch eine Bestands- und Potenzialanalyse durch. Diese Ergebnisse fließen wiederum in die Erstellung der Szenarien ein. Weiterhin erstellt das IE Leipzig die THG-Bilanz. Die r2b energy consulting GmbH (r2b) führt die Bestands- und Potenzialanalysen zum (fossilen) Kraftwerksbestand in der IRMD durch. Weiterhin erarbeitet r2b die Potenziale der Photovoltaiknutzung auf Dachanlagen und führt Analysen zum Einsatz von Stromspeicherung und zu den Optionen zur Sektorenkopplung sowie die Erstellung der Szenarien federführend durch. Die Deutsche Biomasse Forschungszentrum gGmbH (DBFZ) erarbeitet die Bestandsanalyse für Biomasse- und Müllverbrennungsanlagen. Weiterhin analysiert das DBFZ Optionen zur energetischen Biomassenutzung und zur alternativen Klärgasnutzung.

#### Bestandsaufnahme

Im Rahmen der Bestandsaufnahme **konventioneller Kraftwerke (KW)** sind alle Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von mehr als 10 MW berücksichtigt. Die installierte elektrische Leistung konventioneller Kraftwerke in der IRMD beträgt ca. 3.800 MW. Davon entfällt mit ca. 2.800 MW der überwiegende Teil (ca. 75 % der Leistung) auf die Braunkohle, deren Verstromung gemäß dem Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung (KVVBG) in Lippeendorf spätestens zum Ende 2035 und in Schkopau spätestens zum Ende 2036 eingestellt wird. Einige kleinere industrielle Braunkohleanlagen dürfen noch bis zum Jahresende 2038 laufen. Bei der Stromerzeugung fällt der Anteil der Braunkohle mit ca. 83 % noch etwas höher aus, während der Anteil der Braunkohle an der Wärmeerzeugung, aufgrund der häufig ungekoppelten Erzeugung von Strom in Braunkohleanlagen, mit ca. 45 % deutlich geringer ausfällt. Der Anteil der erd-

gasbetriebenen Anlagen an der Wärmeerzeugung beträgt ebenfalls ca. 45% (installierte elektrische Leistung ca. 18%).

Folgende Anlagen (> 10 MW<sub>el</sub>) sind in der Bestandsaufnahme berücksichtigt:

- ▶ Schkopau A+B (Saalekreis): je 450 MW<sub>el</sub>; Außerbetriebnahme Ende 2034
- ▶ Lippendorf R+S (Landkreis Leipzig): je 875 MW<sub>el</sub>; Außerbetriebnahme Ende 2035
- ▶ KW Leuna: 8 Blöcke (Saalekreis) (vorwiegend Erdgas) mit zusammen 281 MW<sub>el</sub>
- ▶ envia THERM GmbH: 4 Blöcke (Erdgas/Heizöl) mit zusammen 283 MW<sub>el</sub>
- ▶ Halle Trotha: 2 Blöcke (Erdgas) mit insgesamt 153 MW<sub>el</sub>
- ▶ Leipzig Nord: 1 Block (Erdgas) mit 167 MW<sub>el</sub> sowie 7 weitere Blöcke mit zusammen 254 MW<sub>el</sub>

Folgende Neubauprojekte sind geplant bzw. umgesetzt:

- ▶ Stadt Halle: Modernisierung Heizkraftwerk (HKW) Dieselstraße mit 165 MW<sub>el</sub>; Inbetriebnahme im Jahr 2020
- ▶ Stadt Leipzig: HKW-Süd (Gasturbinenanlage) mit 120 MW<sub>el</sub>; Inbetriebnahme im Jahr 2023
- ▶ IKW Leuna: Gasturbine mit 120 MW<sub>el</sub>; Inbetriebnahme im Jahr 2022
- ▶ Bio-HKW und mehrere BHKW in Leipzig mit zusammen mehr als 30 MW<sub>el</sub>

Der aktuelle Bestand von **KWK-Anlagen** umfasst insgesamt 889 Anlagen. Davon befinden sich mit 209 etwa ein Viertel allein in der Stadt Leipzig und damit etwa doppelt so viele wie in der Stadt Halle (Saale) mit 94 Anlagen. Dominiert wird der Bestand von 803 Anlagen auf Erdgasbasis. Den weitaus kleineren Anteil repräsentieren 57 Flüssiggas-BHKW. Die installierte Leistung im Jahr 2018 umfasste insgesamt 115 MW<sub>el</sub>, davon rund 27 MW<sub>el</sub> allein in der Stadt Leipzig. In der Stadt Halle (Saale) waren es im gleichen Jahr 7 MW<sub>el</sub>. In den Landkreisen variieren die installierten Leistungen von 6 MW<sub>el</sub> im Altenburger Land bis 17 MW<sub>el</sub> im Burgenlandkreis. Die durch KWK erzeugte Strommenge betrug im Jahr 2018 575 GWh, davon 561 GWh auf Basis von Erdgas.

Innerhalb der IRMD sind 5 **Müllverbrennungsanlagen** in Betrieb, die alle in den Landkreisen von Sachsen-Anhalt verortet sind: Landkreis Saalekreis: Leuna, 32,5 MW<sub>el</sub>, Prozessdampfproduktion; Landkreis Saalekreis: Standort Braunsbedra, 2,6 MW<sub>el</sub>, Burgenlandkreis: Standort Lützen, 25,4 MW<sub>el</sub>, KWK (Strom-/Wärmeproduktion); Landkreis Anhalt-Bitterfeld: Standort Bitterfeld/Wolfen, 10 MW<sub>el</sub>, KWK (Strom-/Wärmeproduktion) und Landkreis Mansfeld-Südharz, Standort Mansfelder Land, 6,7 MW<sub>el</sub>, KWK (Strom-/Wärmeproduktion). Mit einer installierten elektrischen Gesamtleistung von 77,2 MW wurden in den 5 Anlagen im Jahr 2018 insgesamt 644 GWh Strom und 817 GWh Wärme erzeugt.

Insgesamt waren im Jahr 2018 40 **Wasserkraftanlagen** mit einer installierten Nennleistung von 16,2 MW vorhanden, die ca. 53 GWh Strom erzeugten. Die Wasserkraftanlage „Planena“ in der Stadt Halle (Saale) erzeugt ca. 5,9 GWh Strom jährlich. Im Burgenlandkreis sind mit 11 Anlagen die meisten Wasserkraftanlagen in einer Gebietskörperschaft der IRMD zu verzeichnen, während die höchste installierte Leistung der Saalekreis aufweist mit einer Nennleistung von 4,9 MW und einer Stromerzeugung von 17,8 GWh. In der Stadt Leipzig und im Landkreis Nordsachsen (z. B. in Bad Dübener Heide) liefern Wasserkraftanlagen im Bereich der Mulde und der Weißen Elster nur geringe Energiemengen. Im Landkreis Leipzig, in Grimma, steht mit 1,4 MW installierter Leistung und einem jährlichen Stromertrag von rund 5,5 GWh die größte Anlage im Gebiet der IRMD. Weiterhin befinden sich im Landkreis Leipzig Anlagen in Colditz, Elstertrebnitz und Pegau. In der Stadt Halle wird eine Anlage mit einer installierten Leistung von 1,25 MW und einer Stromerzeugung von 4,9 GWh betrieben. Im Altenburger Land sind 5 Anlagen vorhanden. Ende 2019 wurde im Saalekreis bei Merseburg eine weitere Anlage mit einer installierten Leistung von 0,45 MW in Betrieb genommen.

In der IRMD befinden sich 1.205 **Windenergieanlagen**, welche sich recht ungleichmäßig auf die neun Gebietskörperschaften verteilen. So befinden sich etwa zwei Drittel aller Anlagen in den

flächenmäßig größten Gebieten der Landkreise Anhalt-Bitterfeld, Mansfeld-Südharz, Saalekreis und Burgenlandkreis, wobei die Anzahl der Anlagen pro Landkreis zwischen 206 und 273 variiert. Weitaus weniger Anlagen finden sich in den Landkreisen Nordsachsen, Leipzig und Altenburger Land. In den Städten Halle (Saale) und Leipzig sind erwartungsgemäß keine bzw. nur wenige Windenergieanlagen vorhanden. Die gesamte installierte Leistung beträgt 2.038 MW<sub>el</sub> mit einer Gesamtstrommenge von 3.477 GWh im Jahr 2018.

Insgesamt sind in der IRMD 24.073 **Photovoltaikanlagen** auf Dächern und Freiflächen installiert, die im Jahr 2018 eine Strommenge von 1.955 GWh erzeugten. Die meisten PV-Anlagen befinden sich im Landkreis Leipzig (ca. 4.400 Anlagen). Derzeit liegt der Anteil der Freiflächenanlagen an der PV-Stromerzeugung bei 64 %. Den höchsten Anteil der Freiflächen an der solaren Stromerzeugung weist der Landkreis Anhalt-Bitterfeld mit 75 % (insgesamt 296 MW<sub>el</sub>) auf, den niedrigsten Anteil der Freiflächenerzeugung die Stadt Halle mit 26 % und ca. 8 MW<sub>el</sub>.

Bezogen auf die installierte elektrische Anlagenleistung dominieren in der IRMD mit rund 61 % **Biogas**-BHKW. 24 % der installierten Leistung der **Biomasse**anlagen entfällt auf feste Biomasseanlagen, 8 % auf **Biomethan**-BHKW, 7 % auf **Klärgas- und Deponiegas**-BHKW und 0,2 % auf **Pflanzenöl**-BHKW. Insgesamt sind etwa 252 Biomasseanlagen mit einer installierten Leistung von 198 MW<sub>el</sub> in Betrieb. Mit Ausnahme der beiden Großstädte Halle (Saale) und Leipzig sind die Biomasseanlagen relativ gleichmäßig auf die neun Gebietskörperschaften verteilt. Ähnlich wie bei den Windenergieanlagen finden Biomasseanlagen aufgrund der dichten Besiedlung und ungünstigen Standortfaktoren in Städten keinen Platz und werden meist in der Peripherie, in unmittelbarer Nähe zur Erzeugung von Biomasse, errichtet. Im Jahr 2018 speisten die 252 Biomasseanlagen 1.098 GWh Strom ins Netz ein. Mit einer Wärmeleistung von 235 MW<sub>th</sub> wurden etwa 1.312 GWh Wärme erzeugt. Weiterhin gibt es 40 kommunale Kläranlagen sowie 11 Deponieanlagen (Deponieklasse 2 und 3), wobei nicht an allen Standorten BHKW zur Verstromung des Klär- bzw. Deponiegases betrieben werden. Insgesamt sind 17 Deponie- und Klärgasanlagen mit BHKW in Betrieb. Sie umfassen eine Anlagenleistung von rund 15 MW<sub>el</sub> bzw. 17 MW<sub>th</sub>. Im Jahr 2018 wurden durch Klär- und Deponiegas-BHKW schätzungsweise 28 GWh Strom und 32 GWh Wärme erzeugt, wobei nur ein kleiner Teil ins Stromnetz eingespeist wurde. Der Großteil der Stromproduktion deckt einen Teil des Eigenenergiebedarfs am Standort.

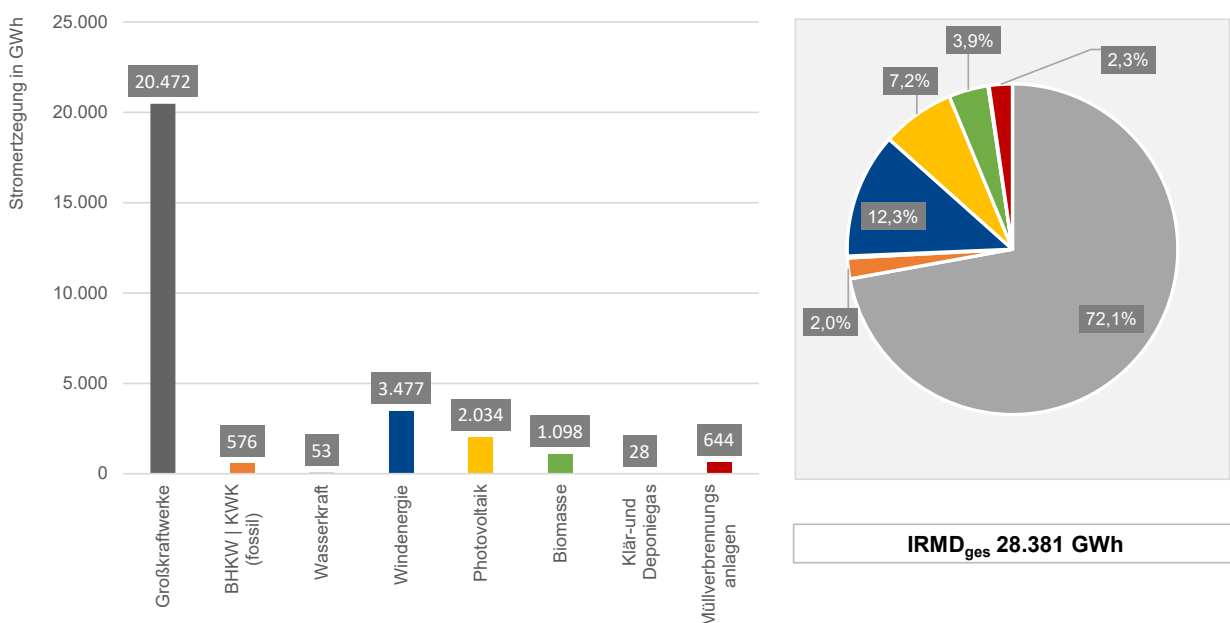


Abbildung 6: Stromerzeugung gesamt in der IRMD im Jahr 2018

Im Jahr 2018 umfasste der Bestand insgesamt 26.507 Anlagen zur Energieerzeugung, davon entfielen 96 % (25.587) auf Anlagen auf Basis von erneuerbaren Energien (EE). Die weitaus größte Anzahl umfasste die Photovoltaik mit 24.073 Anlagen. In der Region sind 26 Großkraftwerke sowie 889 Blockheizkraftwerke/KWK-Anlagen auf Basis von fossilen Energieträgern vorhanden. Der Energieträger Braunkohle wurde in neun konventionellen Kraftwerken eingesetzt, welche sich im Landkreis Mansfeld-Südharz, Saalekreis, Burgenlandkreis und Landkreis Leipzig befinden. Die Großkraftwerke wiesen einen Anteil von 72% an der Stromerzeugung in der Region auf, während die erneuerbaren Energien mit einem Anteil von 24% zur Stromerzeugung beitrugen. Zur Stromerzeugung in den Großkraftwerken wurden zu 83% Braunkohle, zu 13% Erdgas und zu 2% Heizöl sowie weitere Brennstoffe eingesetzt. Insgesamt wurden im Jahr 2018 28.381 GWh Strom erzeugt, 6.990 GWh davon durch erneuerbare Energien. Dominierend im Bereich der erneuerbaren Energien ist die Windenergie, deren Anteil an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2018 53% betrug. Photovoltaik wies einen Anteil von 30% auf. Wasserkraft, Biomasse sowie Deponie- und Klärgas spielten eine untergeordnete Rolle. Insgesamt wurden im Jahr 2018 11.188 GWh Wärme erzeugt. Der Anteil der erneuerbaren Energien (Biomasse sowie Klär- und Deponiegas) betrug mit 1.344 GWh lediglich 12%; der weitaus größte Anteil der Wärme von 73% wurde noch durch Großkraftwerke erzeugt. Weitere 7% entfielen auf Müllverbrennungsanlagen und 8% auf BHKW.

## Potenziale

Tiefengeothermie und somit Geothermiekraftwerke zur Strom- und Wärmeerzeugung wurden in der Potenzialbetrachtung aufgrund der lokal bzw. regional kaum vorhandenen Potenzialen nicht weiter berücksichtigt. Oberflächennahe Geothermie zur Nutzung geothermischer Energie im Bereich zwischen der Geländeoberfläche und einer Tiefe von 400 m wurde u. a. thematisch unter Power-to-Heat und Einbindung erneuerbarer Energien berücksichtigt. Weiterhin erfolgt die Darstellung der Nutzung von Wärmepumpen im Bereich der Haushalte, konkret in den Szenarien. Als Optionen der Sektorenkopplung werden die lokalen Potenziale bezüglich Power-to-Gas sowie Einsatz von Strom- und Wärmespeichern in den Gebietskörperschaften analysiert.

## Großkraftwerke

Es wurden Fachgespräche mit den Betreibern der großen Braunkohlekraftwerke geführt, um möglichst realistische Annahmen bei der Generierung der beiden Szenarien hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Braunkohlekraftwerke in der IRMD treffen zu können. Die wichtigsten Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst:

- ▶ LEAG (KW Lippendorf/KW Schkopau): Kein Ersatz für Wärmeversorgung von Leipzig erforderlich, da diese ab 2023 im Wesentlichen vom HKW Leipzig Süd übernommen wird. Lediglich sehr geringe Wärmemengen für die Versorgung von Böhlen und Neukieritzsch müssen ersetzt werden. Schkopau wurde an die MIBRAG/Saale Energie GmbH veräußert. An diesem Standort ist nach dem Ende der Braunkohleverfeuerung ein Ersatz insbesondere zur Wärmeversorgung der Industrie erforderlich.
- ▶ MIBRAG (KW Deuben/HKW Wähltitz): Das Kraftwerk Deuben hat einen Zuschlag in der Steinkohle-Auktion gemäß KVBG erhalten; die Stilllegung sollte bis spätestens zum 08.12.2021 erfolgen. Ein Ersatz ist nicht erforderlich, da das angeschlossene Fernwärmenetz Hohenmölsen-Webau künftig vollständig vom (ggf. erweiterten) Standort des HKW Wähltitz beliefert werden kann. Das HKW Wähltitz wird künftig alleinig die Versorgung des Fernwärmenetzes Hohenmölsen-Webau übernehmen (dieses wurde auch in der Vergangenheit überwiegend von Wähltitz gespeist). Zudem sind die BHKW als Ergänzung und eine Umstellung auf biogene Brennstoffe denkbar. Ein Ersatz ist nach dem Ende der Braunkohleverfeuerung für den Betrieb des Fernwärmenetzes Hohenmölsen-Webau erforderlich.

- ▶ ROMONTA (Amsdorf): Am Standort Amsdorf wird Trockenbraunkohle verfeuert, die als Reststoff aus der Montanwachsproduktion anfällt. Nach heutigen Vorgaben darf diese behandelte Trockenbraunkohle ausschließlich verbrannt werden. Die entstehende Wärme sowie Teile des Stroms werden wiederum in der Montanwachsproduktion und weitere Teile des Stroms in den Tagebauen verwendet. Die Aufrechterhaltung des Kraftwerksbetriebs ist daher so lange wie möglich erforderlich, wenn keine andere Lösung für die Verbringung oder stoffliche Nachnutzung der Trockenbraunkohle gefunden wird, ggf. (mit Sondergenehmigung) sogar bis zum Jahr 2038. Das Kraftwerk besteht aus vier Kesseln, die einzeln betrieben werden können, sodass auch Teilstilllegungen möglich sind. Zudem ist die Errichtung einer dritten EBS-Linie (Ersatzbrennstoff/Müll) mit Inbetriebnahme im Jahr 2024 geplant (bereits installiert sind 7,5 MW und 2,5 MW). Weiterhin prüft die ROMONTA, ob Floating-PV-Anlagen auf Tagebauseen umsetzbar sind.

## Windenergie

Das ermittelte Flächenpotenzial für die Windenergie umfasst 8.782 ha. Die maximal installierbare Leistung auf dieser Potenzialfläche beträgt 1.756 MW. Dabei ist die regionale Verteilung der ausgewiesenen Flächen und der damit verbundene potenzielle Zubau sehr unterschiedlich. Im Vergleich zum Bestand 2018 wird trotz maximaler Potenzialausschöpfung ein Rückgang der installierbaren Leistung erfolgen. Hauptursache hierfür ist, dass viele Anlagen bis 2040 deutlich über 20, teils über 30 Jahre alt sind und voraussichtlich außer Betrieb genommen werden. In der Potenzialermittlung bis zum Jahr 2040 wurde eine durchschnittliche Betriebsdauer von 23 Jahren berücksichtigt. Viele dieser Bestandsanlagen befinden sich außerhalb der ausgewiesenen Potenzialfläche, weshalb ein Repowering nicht für alle Anlagen erfolgen kann.

## Photovoltaik

Zunächst muss eine Unterscheidung zwischen theoretischem und wirtschaftlich-praktischem Potenzial vorgenommen werden. Das theoretische Flächenpotenzial berücksichtigt bei PV-Freiflächenanlagen die raumordnerischen Vorgaben und Ausschlussflächen. Die Flächenabschläge für verschattete Flächen, unwirtschaftliche Kleinflächen sowie Flächen mit operativen Restriktionen (z. B. Einfluss von Entfernungen zu Netzanschlusspunkten) sowie konkurrierende Nutzungen werden im wirtschaftlich-praktischen Potenzial berücksichtigt, welches dann auch in den Berechnungen der jeweiligen Szenarien bis 2040 zugrunde liegt und somit erhebliche Abschläge gegenüber den hier dargestellten Potenzialflächen enthält.

## Wasserkraft

Das Wasserkraftpotenzial ist nahezu ausgeschöpft. Zu dem Bestand von 17MW<sub>el</sub> könnten lediglich noch 4,4MW<sub>el</sub> ausgebaut werden. Neben Natur- und Hochwasserschutzaspekten sind Hemmnisse für die Kapazitätssteigerung von Wasserkraftanlagen oftmals ungeklärte (eigentums-)rechtliche Aspekte. Für Modernisierungsmaßnahmen steht den hohen Kosten, den geringen Restlaufzeiten von Konzessionen sowie dem Umgang mit Anlagenrestwerten ein im Vergleich zu anderen Energieträgern geringes Leistungspotenzial gegenüber. In Einzelfällen könnte noch ein Zubau durch die Sanierung bestehender bzw. Reaktivierung stillgelegter Anlagen erfolgen.

## Biomasse sowie Deponie- und Klärgas

Der Abgleich der im Vorhaben eMikroBGAA ermittelten Biogaspotenziale mit der gegenwärtigen Nutzung zeigt, dass noch verfügbare Biogaspotenziale bestehen. Der Großteil der Biogaspotenziale liegt im landwirtschaftlichen Bereich (Anbaubiomasse, Grünland und landwirtschaftliche Reststoffe). Auf den Landkreis Nordsachsen entfällt mit knapp 130.000 ha die größte landwirtschaftliche Nutzfläche. In Relation zur gesamten Fläche in der IRMD weisen der Saalekreis, das Altenburger Land und der Burgenlandkreis mit je etwa 70% Landwirtschaftsfläche die größten Anteile aus [DBFZ 2020].

Auch wenn der Abgleich verfügbare Potenziale insbesondere im Agrarbereich aufzeigt, wird der Fokus politisch zunehmend auf „Reststoffe“ gerichtet sein. Das bedeutet für die Szenarien bis 2040 für Biogas/ Biomethan einen moderaten, nachhaltigen Energiepflanzenanbau, der über das jetzige Niveau nicht hinausgehen wird. Unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen ist zu erwarten, dass der Ausbau neuer Biomasseanlagen zur Stromerzeugung begrenzt bleibt und der Anlagenbestand sogar sukzessive zurückgehen wird, da die EEG-Vergütung für Biomasseanlagen spätestens nach 20 Jahren ihrer Inbetriebnahme endet und nur ein Teil der Anlagen eine Anschlussförderung über Ausschreibungen oder eigene Vermarktungsoptionen nutzen wird. Zudem wird eine Verlagerung der Nutzung durch die Bereitstellung von Biomethan als Kraftstoff erwartet.

Im Bereich der Biogasanlagen könnte perspektivisch insbesondere für größere Anlagen die Bereitstellung von Biomethan eine Option für den Weiterbetrieb darstellen. Auch die Einführung eines nationalen Emissionshandelssystems (ETS) wird sich auf den Absatz von Biomethan in der Zukunft auswirken. Mit der Zielsetzung, den Ausbau erneuerbarer Gase (sowohl für Biomethan als auch biogene synthetische EE-Gase, u. a. Bio-SNG, Wasserstoff) zu fördern, dürfte auch der Anteil Biomethan im Erdgasnetz zukünftig steigen. Dabei wird abfallbasiertes Biogas /Biomethan (vor allem größerer Anlagen) aufgrund der höheren THG-Einsparungen (THG-Quote/RED-II) zunehmend eine interessante Option für den Kraftstoffmarkt werden. Der Ausbau wird daher stärker durch die erweiterte Nutzung von Reststoffen oder/und Substratumstellungen geprägt sein.

**PtX-Technologien**, insbesondere die elektrochemische Herstellung von Wasserstoff, werden zurzeit als Schlüsseltechnologie für die Energiewende diskutiert. Wasserstoff kann energetisch genutzt werden, findet aktuell aber vor allem Anwendung in der Chemie- und Raffineriebranche. Bestehende Anlagen und Infrastruktur sowie geplante Projekte in diesem Bereich machen deutlich, dass die IRMD beim Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft eine Vorreiterrolle in Deutschland und auch darüber hinaus einnehmen kann. Wie schnell dieser Hochlauf voranschreitet, hängt stark von technoökonomischen und regulatorischen Faktoren ab. Hier sind vor allem die Wasserstoffgestehungskosten sowie die Höhe und der Umfang der CO<sub>2</sub>-Bepreisung ausschlaggebend. Ein weiteres Instrument ist die von der Bundesregierung zur Umsetzung der europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) eingeführte THG-Minderungs-Quote für Kraftstoffe. E-Fuels stellen für Kraftstoffproduzenten eine Möglichkeit dar, diese Quoten einzuhalten.

Die **Wasserstoffbestandsanalyse** umfasst Angebots- und Nachfragekapazitäten, für Wasserstoff geeignete Kavernenspeicher sowie vorhandene und eine zukünftig umrüstbare H<sub>2</sub>-Infrastruktur. Zusätzlich zu den aktuell vorhandenen Kapazitäten wurden bereits geplante Projekte ermittelt. Die Nachfrage der jeweiligen Standorte wird in ► **Abbildung 7** dargestellt. Wasserstoff wird in der Region aktuell ausschließlich stofflich verwendet und stellt hier vor allem in der Rohölverarbeitung und Methanolherstellung (Total GmbH) sowie für die Ammoniakherstellung (SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH) einen wichtigen Rohstoff dar. Die Linde AG betreibt am Standort Leunawerke H<sub>2</sub>-Verflüssigungsanlagen, um Wasserstoff in Tanks transportieren zu können. Das Angebot wird in der Region derzeit überwiegend konventionell durch Dampfreformierung hergestellt (sog. „grauer“ Wasserstoff). Die Dampfreformierungsanlagen in den Leunawerken sowie das bestehende Pipelinennetz werden von der Linde AG betrieben. Zusätzlich bestehen aus der IRMD heraus feste Lieferbeziehungen zu Air Liquide, welche in Westdeutschland Wasserstoff produziert

und über Lkw-Tanks in die Modellregion an Industriekunden liefert, ► **Abbildung 8**. Zukünftig gilt es, den grauen Wasserstoff durch nachhaltigere Alternativen (grüner, türkiser, blauer Wasserstoff) zu substituieren, um CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren. In Deutschland gibt es aktuell nur drei Pipelines, die ausschließlich für den Transport von Wasserstoff errichtet wurden. Eine davon liegt inmitten des mitteldeutschen Chemiedreiecks und weist eine Länge von ca. 144 km auf. Sie verbindet die Chemiestandorte von Zeitz über Böhlen, Leuna, Schkopau, Bitterfeld-Wolfen bis Rodleben.

Zu den umrüstbaren Infrastrukturen in der IRMD zählen einerseits die bislang für die Speicherung von Erdgas genutzten Salzkavernen, die sich für die Speicherung von Wasserstoff eignen. Darüber hinaus wurden Kraftwerke identifiziert, die in Fernwärmenetze eingebunden sind und in Zukunft mit Wasserstoff befeuert werden. Ein Beispiel ist der Neubau des HKW Süd in Leipzig, welches bereits zur geplanten Inbetriebnahme im Jahr 2022 gemäß Betreiberangaben 100 % wasserstofffähig sein wird. Übergreifend verdeutlicht bereits der Status quo die zentrale Stellung der IRMD für die Schlüsseltechnologie Wasserstoff. Ungefähr 12 % bis 16 % der deutschen Jahresnachfrage werden im Raum der IRMD nachgefragt. Aktuelle konventionelle Angebotskapazitäten liegen bei 276.000 t bzw. 9,24 TWh Wasserstoff pro Jahr. Die gesamte Elektrolyseurkapazität inklusive der bis 2024 geplanten Anlagen (welche noch nicht in Betrieb sind) belaufen sich auf 32.600 t bzw. 1,1 TWh Wasserstoff pro Jahr.

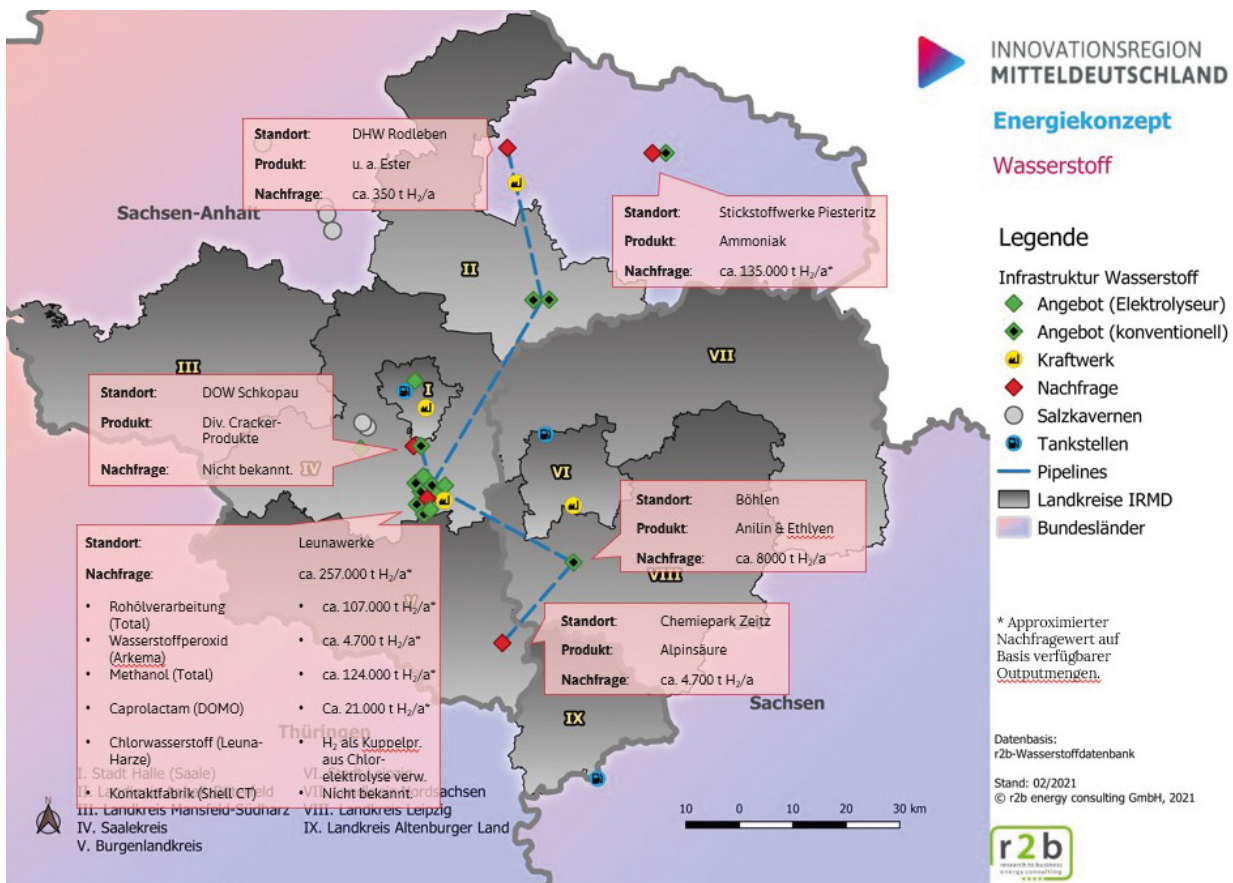


Abbildung 7: Wasserstoff-Nachfragestandorte und -mengen in der IRMD



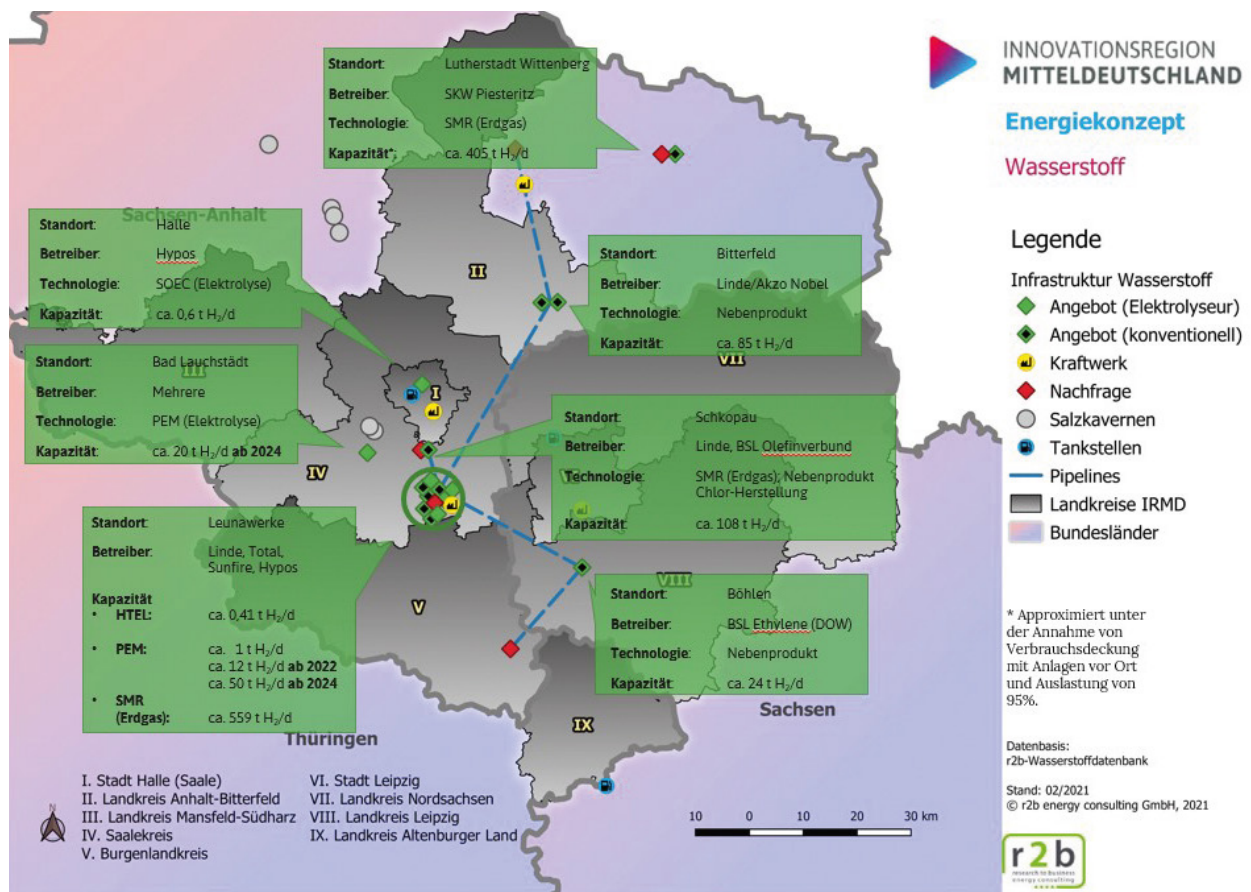


Abbildung 8: Wasserstoff-Angebotsstandorte und -kapazitäten in der IRMD

## Szenarien bis 2040

Es wurden jeweils zwei Szenarien für die neun Gebietskörperschaften innerhalb der IRMD sowie aggregiert für die IRMD erarbeitet. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden folgende Szenarien erarbeitet:

- ▶ **Referenzszenario:** Dieses Szenario unterstellt „realistisch-ambitionierte“ Entwicklungen in der Zukunft. Die aktuellen Ziele auf Bundes- und Landesebene werden hierbei erreicht. Dazu gehört auf der Bundesebene beispielsweise eine Verminderung der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 von mind. 55 % bis zum Jahr 2030 und um ca. 70 % bis 2040. Der Anteil der erneuerbaren Energien am nationalen Bruttostromverbrauch steigt bis zum Jahr 2030 bis auf 65 % und der Ausstieg aus der Kohleverstromung erfolgt gemäß KVBG bis spätestens Ende 2038.
- ▶ **Green-Deal-Szenario:** Es unterstellt eine ambitionierte Umsetzung des European Green Deals, bei der die klima- und energiepolitischen Ziele auf EU-, Bundes- und Landesebene nochmals angehoben werden. Gegenüber dem Referenzszenario, bei dem im Einklang mit dem im Dezember 2019 in Kraft getretenen Klimaschutzgesetz (KSG) ebenfalls die Erreichung der Klimaneutralität bis spätestens zur zweiten Jahrhunderthälfte angenommen wird, werden im Green-Deal-Szenario THG-Minderungen insbesondere zeitlich nach vorne gezogen. Der Anteil der erneuerbaren Energien am nationalen Bruttostromverbrauch steigt in diesem Szenario bis zum Jahr 2030 bereits auf 70 %. Der Ausstieg aus der Kohleverstromung erfolgt marktgetrieben bereits früher, da sich die Strom- und Wärmeerzeugung aus Kohlekraftwerken bei den unterstellten Rahmenbedingungen ab der ersten Hälfte der 2030er-Jahre nicht mehr wirtschaftlich darstellt.

Die Szenarien zur Strom- und Fernwärmeerzeugung bis 2040 wurden auf Basis der beiden bereits genannten Veröffentlichungen (Genehmigung des Szenariorahmens zum Netzentwicklungsplan 2035 (V2021)) und „Klimaneutrales Deutschland“ von Prognos et al. 2020 erstellt. Zusätzlich wurden insbesondere zur Entwicklung der Annahmen bei der Stromerzeugung aus dargebotsabhängigen erneuerbaren Energien (Wind & PV) die Ergebnisse der geführten Fachgespräche mit den regionalen Planungsverbänden berücksichtigt. Die Annahmen zur Wärmeversorgung bauen auch auf den geführten Fachgesprächen zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit nach dem Kohleausstieg und – soweit bekannt – auch auf bereits geplanten Einzelprojekten, wie Erdgas-Ersatzbauten und größeren Solar- oder Seethermie-Anlagen, auf.

In ► [Abbildung 9](#) ist die Strombilanz für die IRMD im Green-Deal-Szenario (Anm.: in der Langfassung erfolgen auch die Darstellungen zum Referenzszenario) veranschaulicht, d. h. eine Gegenüberstellung der Stromerzeugung aus den unterschiedlichen vorhandenen Energieträgern und des Stromverbrauchs. Zusätzlich wird hierbei zwischen dem Stromverbrauch in den klassischen Verbrauchssektoren Haushalte (HH), Gewerbe/ Handel/ Dienstleistungen (GHD) sowie Verarbeitendes Gewerbe (VG) und dem Stromverbrauch der Sektorkopplungstechnologien (dezentrale Haushaltswärmepumpen, Großwärmepumpen und Seethermie, Elektrodenheizkessel sowie Wasserstoff-Elektrolyse) unterschieden. Im Green-Deal Szenario steigt der klassische Stromverbrauch im Zeitverlauf etwas weniger als im Referenzszenario. Der Stromverbrauch der Sektorkopplungstechnologien steigt dagegen deutlich stärker an. Zudem endet die Verstromung von Braunkohle bereits vor 2035, während die erneuerbaren Energien Wind und PV noch stärker als im Referenzszenario ausgebaut werden. Die Verstromung von Erdgas in KWK-Anlagen ist verglichen mit dem Referenzszenario im Jahr 2040 ca. ein Drittel (ca. 1 TWh<sub>el</sub>) geringer. Im Green-Deal-Szenario bleibt die IRMD somit bis zum Jahr 2040 durchweg Nettoexporteur von Strom. Der EE-Anteil an der Stromerzeugung steigt von 25 % im Jahr 2020 auf 86 % im Jahr 2040 an. Für das Jahr 2040 wurde auch eine anteilige Wasserstoffnutzung in den Erdgas-KWK-Anlagen in Höhe von 25 % unterstellt (entspricht ca. 0,8 TWh<sub>el</sub> p.a.). Der Anteil des fossilen Mülls sowie der Einsatz von Biogas und Deponiegas entwickeln sich rückläufig, während der Einsatz von biogenem Abfall konstant bleibt. Zudem wird eine ambitioniert realistische Erschließung neuer Technologien der Wärmebereitstellung unterstellt. Diese neuen Technologien der Wärmebereitstellung umfassen u.a. den Einsatz von Großwärmepumpen und die Seethermie, Solarthermie, Abwärmenutzung und Elektrodenheizkessel. Zudem wird der anteilige Einsatz von 15 % Wasserstoff in Erdgas-KWK-Anlagen unterstellt.

Die Fernwärmebilanz für das Green-Deal-Szenario ist in ► [Abbildung 10](#) dargestellt. Auch hier wird ab dem Jahr 2035 keine Braunkohle zur Wärmeerzeugung mehr genutzt. Die Annahmen zu fossilem und biogenem Abfall sowie Deponiegas sind identisch zu den Annahmen des Referenzszenarios, während der Einsatz von Biogas im Green-Deal-Szenario etwas weniger stark rückläufig ist. Bezüglich der Entwicklung neuer Technologien der Wärmebereitstellung wird eine ambitioniertere Erschließung unterstellt. Dies führt dazu, dass der Umfang des Einsatzes von Erdgas in KWK-Anlagen in der Fernwärme ca. um ein Drittel niedriger ist (entspricht ca. 1,4 TWh<sub>th</sub>). Dementsprechend steigt der Anteil erneuerbarer Energien in der Fernwärmeversorgung von 16 % im Jahr 2020 auf ca. 60 % im Jahr 2040.

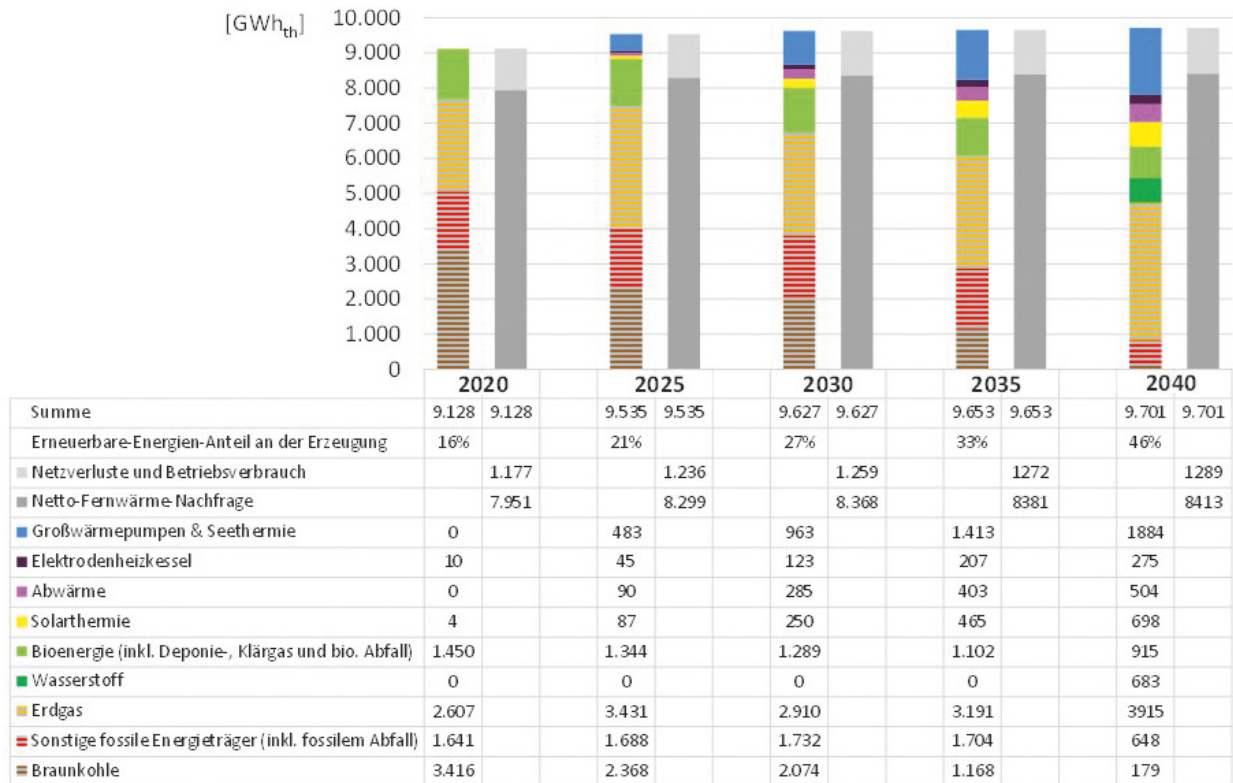


Abbildung 9: Strombilanz (Erzeugung und Verbrauch) in der IRMD - Green-Deal-Szenario

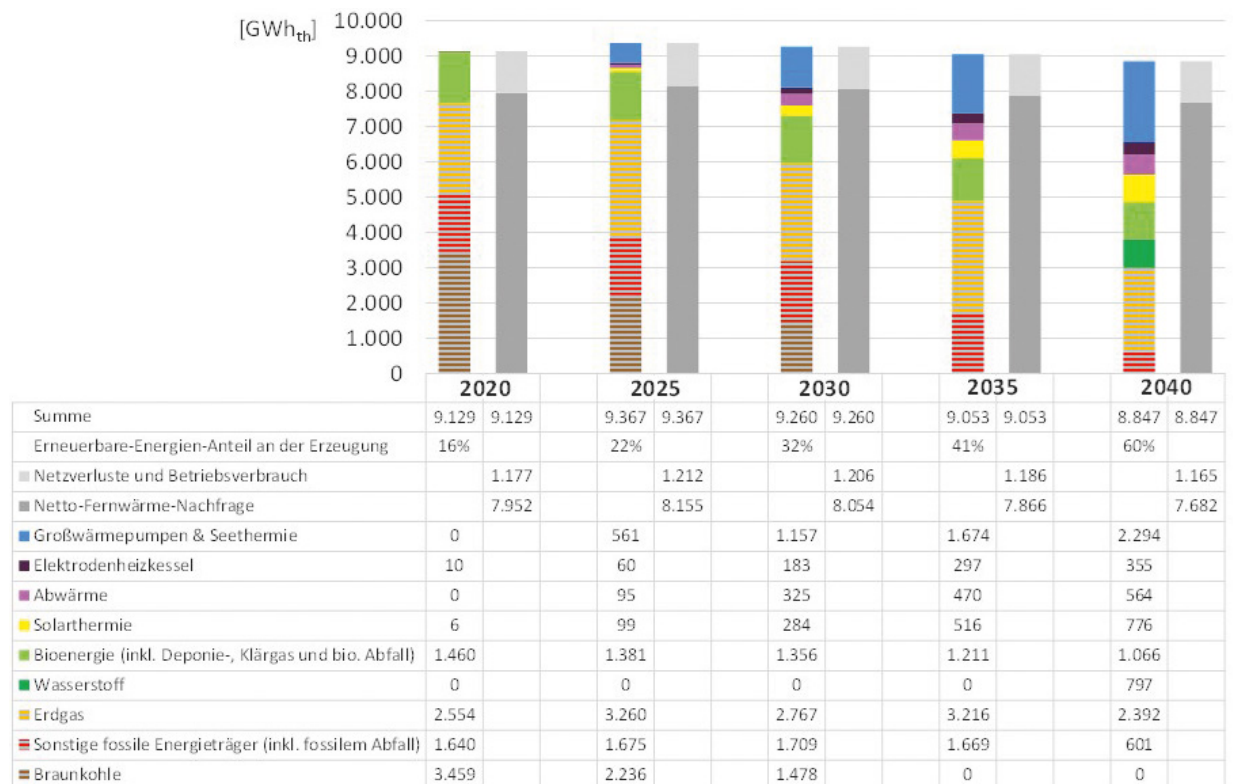


Abbildung 10: Fernwärmebilanz (Erzeugung und Verbrauch) in der IRMD - Green-Deal-Szenario

## 3.2 Seethermie

### Bearbeitung

Die nachfolgenden Inhalte sind der Kurzfassung der Studie entnommen, welche von folgendem Konsortium erstellt wurde:

- ▶ JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH
- ▶ Tilia GmbH
- ▶ Institut für Wasser und Boden – Dr. Uhlmann (IWB)
- ▶ Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH (ILK)
- ▶ Energieberatung Bernd Felgentreff
- ▶ Brandenburgische Technische Universität Cottbus–Senftenberg

### Motivation

Die Abkehr von der fossilen Wärme und der Klimanotstand Leipzigs befeuern die Entwicklung alternativer Energiesysteme sowie die Nutzung lokaler Ressourcen. Von großer Bedeutung für eine solche Transition wird sein, die in der Region Leipzig ausgeprägten besonderen Potenziale für eine lokale und regionale energetische Wertschöpfung zu erschließen. Diese lokaltypischen Potenziale in Bezug einer energetischen Transition sind im Wesentlichen:

- ▶ der Bestandsschutz der Flächen der bisherigen fossilen Energieproduktion für eine künftige Nutzung postfossiler Energieerzeugung, -umwandlung und -speicherung,
- ▶ die weite Verbreitung tertiärer Aquifere mit großen Mächtigkeiten für eine geogene saisonale Wärmespeicherung und
- ▶ die weite Verbreitung von Tagebaurestseen zur Nutzung mit Seethermie.

Bezüglich der Wärmeversorgung gilt als Langfristziel zur Energiewende die Anpassung der Heizsysteme an sogenannte „kalte“ Medien (verlustarme Bereitstellung der Wärmemengen durch große Volumina), die effizient aus regenerativen bzw. sekundären Quellen und Speichern gespeist werden.

Die Gewinnung thermischer Energie aus Seewasser – Seethermie – erfährt bislang in Deutschland keine bekannte Nutzung. Die Seen des Leipziger Neuseenlands und andere geflutete Tagebaue besitzen erhebliche Potenziale zur Nutzung von Seethermie, aus denen durch Abkühlung ca. 4 GW Wärme sich selbst regenerierend bereitgestellt werden könnten (eigene Berechnung JENA-GEOS®).



Abbildung 11: Lage des exemplarischen Standortes am Zwenkauer See

In dieser Studie untersucht eine Gruppe mitteldeutscher Wissenschaftler und Ingenieure im Auftrag der Europäischen Metropolregion Mitteldeutschland die Nutzungsoptionen von Seethermie anhand des exemplarischen Standortes eines künftigen Quartiers (Hotel- und Erholungskomplex) am Nordufer des Zwenkauer Sees im Südraum von Leipzig, ▶ [Abbildung 11](#). Die Arbeiten widmen sich der technischen Machbarkeit, der Wirtschaftlichkeit und der Genehmigungsfähigkeit der Nutzung von Seethermie unter Anwendung der sogenannten Vakuum-Flüssigeis-Technologie für die Energiebereitstellung.

## Methode

Zunächst war anhand des vorläufigen Planungsstandes eine Wärme-Bedarfsermittlung für das exemplarische Quartier vorzunehmen. Das Quartier ist am Nordufer des Zwenkauer Sees als ein Cluster von drei Feriendörfern mit insgesamt 150 Gebäuden konzipiert. Ermittelt wurde ein stündlicher Lastgang für das gesamte Quartier, der im späteren Schritt als Grundlage für die Modellierung des technischen Gesamtsystems dient.

Großen Raum der Arbeiten nahmen Untersuchungen am Gewässerkörper, seinen saisonalen Temperaturschichtungen und deren Beeinflussungen ein. Diese einjährigen Untersuchungen bildeten die Datengrundlage für die Simulation und Bewertung möglicher Auswirkungen der Entnahme und Rückführung von Wasser für eine Wärmeversorgung des Quartiers auf die Limnologie des Sees.

Infolge dieser Erhebungen wurde eine technologische Konfiguration für ein Wärmeversorgungssystem entwickelt, deren Wirtschaftlichkeit optimiert sowie die Genehmigungsfähigkeit und die ökologischen Auswirkungen (CO<sub>2</sub>-Footprint) des Gesamtsystems untersucht.

Von vornherein war dabei vorgesehen, die vom Dresdener Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH entwickelte (und vom Sächsischen Staatsministerium mit dem eku – ZUKUNFTSPREIS ausgezeichnete) Vakuum-Flüssigeis-Technologie in die Betrachtungen einzubeziehen. Mit diesem Verfahren wird dem entnommenen Seewasser auf intelligente und energiesparende Weise Wärme entzogen. In der Anlage erfolgt eine Direktverdampfung, bei der das Seewasser gleichzeitig als Kältemittel dient. Der Wasserdampf ist Träger der dem Seewasser entzogenen Wärme. Er wird vom Verdichter auf ein höheres Druckniveau komprimiert und gibt auf einem höheren Temperaturniveau die Wärme ab. Diese wird zur Belieferung von Primär- und Sekundärkreisläufen („kalte intelligente Netze“) für die drei am Seeufer entstehenden Dörfer des Quartieres verwendet. Das entwärmte Wasser wird mit einer geringfügig niedrigeren Temperatur und im Winter mit einem gewissen Eisanteil in den See zurückgeführt.

Die Wärmeentzugsleistung dieses Systems ist unabhängig von der Wassertemperatur und somit auch bei sehr kaltem Wasser gegeben. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die für die benötigte Wärmeentzugsleistung erforderliche Wassermenge im Vereisungsbetrieb deutlich geringer als bei konventionellen Wärmeübertrager-Systemen ist. Schließlich besteht keine Verschmutzungsgefahr des Wärmeübertragers, da der Wärmeentzug durch Direktverdampfung erfolgt und es keinen seewasserbeaufschlagten Wärmeübertrager gibt.

## Ergebnisse

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Seethermie in Kombination mit der Vakuum-Flüssigeis-Technologie einen wichtigen Beitrag zum Versorgungsmix einer dekarbonisierten Wärmeversorgung leisten kann.

Unter den Bedingungen des exemplarischen Standortes kann die Technologie

- ▶ technologisch sinnvoll konfiguriert und eingesetzt,
- ▶ vergleichsweise wirtschaftlich betrieben,
- ▶ umweltverträglich gestaltet und
- ▶ von den zuständigen Behörden genehmigt werden.

Die CO<sub>2</sub>-Bilanz wird zudem mit „sehr gut“ bewertet.

Im Einzelnen kommen die Autoren in Bezug auf die Zielstellung zu folgendem Ergebnis:

### **Der Zwenkauer See, seine räumlich-zeitliche Temperaturverteilung und deren Auswirkungen für die seethermische Nutzung**

Der Zwenkauer See ist das Ergebnis der Flutung des ehemaligen Tagebaus Zwenkau, in dem der Abbau von Braunkohle im Jahr 1999 eingestellt wurde. Mit einer Fläche von aktuell 9,7 km<sup>2</sup> ist er das größte Gewässer im südlichen Leipziger Neuseenland. Die maximale Tiefe beträgt 48 m, das Volumen des Wasserkörpers 0,176 km<sup>3</sup>. Die Sanierung des Bergbaufolgesees ist noch nicht abgeschlossen; der See untersteht noch dem Bergrecht.

Mit den zeitlich und räumlich hochauflösenden Temperaturmessungen konnten sowohl der jahreszeitliche Gang der Gewässertemperatur als auch kurzzeitige Temperaturänderungen sehr gut erfasst werden. Die manuell aufgenommenen Temperaturprofile bestätigen die Messungen der automatischen Messbojen. Unterhalb von 20 m Wassertiefe liegt die Wassertemperatur ganzjährig zwischen 2 und 9 °C, im oberflächennahen Bereich werden im Sommer bis 27 °C erreicht. Im Februar 2021 konnten die Auswirkungen eines vollständig zugefrorenen Sees auf die Temperaturschichtung aufgezeichnet werden.

Als wesentlicher Einflussfaktor für kurzzeitige Änderungen der vertikalen Temperaturverteilung konnte die Windstärke identifiziert werden. Sturmereignisse können innerhalb weniger Stunden durch Wellengang und Strömung zur vollständigen Durchmischung und damit zum Temperaturausgleich bis in Tiefen von 20 m führen. Der Bereich von 20 m bis 45 m Tiefe weist dagegen, abgesehen vom jährlichen Temperaturgang, keine kurzzeitigen Temperaturschwankungen auf.

Da die laterale Temperaturverteilung im See sehr homogen ist, ergeben sich keine Einschränkungen bzw. Vorzugsbereiche für die Lage der Entnahme und Einleitstelle.

Die Höhe der Entnahmestelle in Bezug auf die Wasseroberfläche ist wesentlich von der gewünschten Entnahmetemperatur abhängig. Sollen kurzfristige Schwankungen der Rohwassertemperatur vermieden werden, bietet sich die Entnahme unterhalb einer Wassertiefe von 20 m an. Der Bereich oberhalb von 20 m Wassertiefe hat dagegen den Vorteil eines höheren Temperaturniveaus während der Sommerstagnation.

Die Tiefe der Einleitstelle ist von der Temperatur des einzuleitenden Wassers und von der beabsichtigten Wirkung auf die Temperaturschichtung abhängig. Durch Einleitung in die der Temperatur des Einleitwassers entsprechende Gewässerschicht können dichtebedingte Zirkulationen reduziert werden. Ist eine verstärkte Vertikalströmung gewünscht, ist eine möglichst hohe Differenz zwischen der Temperatur des Einleitwassers und der Gewässertemperatur an der Einleitstelle zu wählen.

### **Gewässerökologische Bewertung**

Voraussetzung für die thermische Nutzung von Gewässern ist die ökologische Unbedenklichkeit. Durch den Einsatz der Vakuum-Flüssigeis-Technologie werden die physikalischen Eigenschaften des genutzten Wassers hinsichtlich der Temperatur und der Sauerstoffkonzentration verändert. Entsprechend wissenschaftlichen Erkenntnissen und darauf basierenden gesetzlichen Vorgaben ist bei Temperaturveränderungen von weniger als 1K und bei Gewährleistung einer Mindestsauerstoffkonzentration von 6 mg/l nicht von nachteiligen Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften in Gewässern auszugehen.

Durch limnophysikalische Modellierungen konnte für verschiedene Bereiche in unterschiedlicher Entfernung von der Rückleitstelle des zur Wärmegegewinnung entnommenen Wassers nachgewiesen werden, dass es durch einen Wärmepumpenbetrieb in der vorgesehenen Dimensionierung im Zwenkauer See zu keiner Zeit zu einer Temperaturveränderung von 1K oder darüber kommt. In über 95% des Jahresverlaufs liegen die maximalen lokalen Temperaturveränderungen unter 0,25K. Die Verminderungen der Sauerstoffkonzentrationen erreichen im Einleitungsbereich temporär und lokal maximal 0,6 mg/l. Aufgrund der stets hohen Sauerstoffkonzentrationen im Bereich der Einleitstelle wird eine als kritisch anzusehende Sauerstoffkonzentration zu keiner Zeit annähernd erreicht.

Aus dem prognostizierten Wärmepumpenbetrieb lassen sich entsprechend keine nachteiligen Veränderungen auf die Gewässerökologie hinsichtlich des natürlichen Schichtungsverhaltens und des Sauerstoffhaushaltes des Zwenkauer Sees ableiten. Die Veränderungen der Lebensbedingungen für die Organismen im See sind minimal und als ökologisch nicht relevant anzusehen.

### Abgeleitetes technisches Konzept und Wirtschaftlichkeit

Es wurde ein technisches Konzept entworfen, das einen zentralen Standort für den Vakuum-Flüssigeis-Erzeuger, eine Verteilung der Wärme mithilfe eines „kalten Netzes“ in die einzelnen Dörfer und je eine Wärmepumpe je Dorf, also in räumlicher Nähe zu den größten Wärmeverbrauchern vorsieht, ► [Abbildung 12](#). Damit wird der verteilten Anordnung der Siedlungen (Dörfer), der Größenordnung des Gesamt-Wärmebedarfs sowie der festgelegten Seewasserentnahme und -einleitstelle Rechnung getragen.

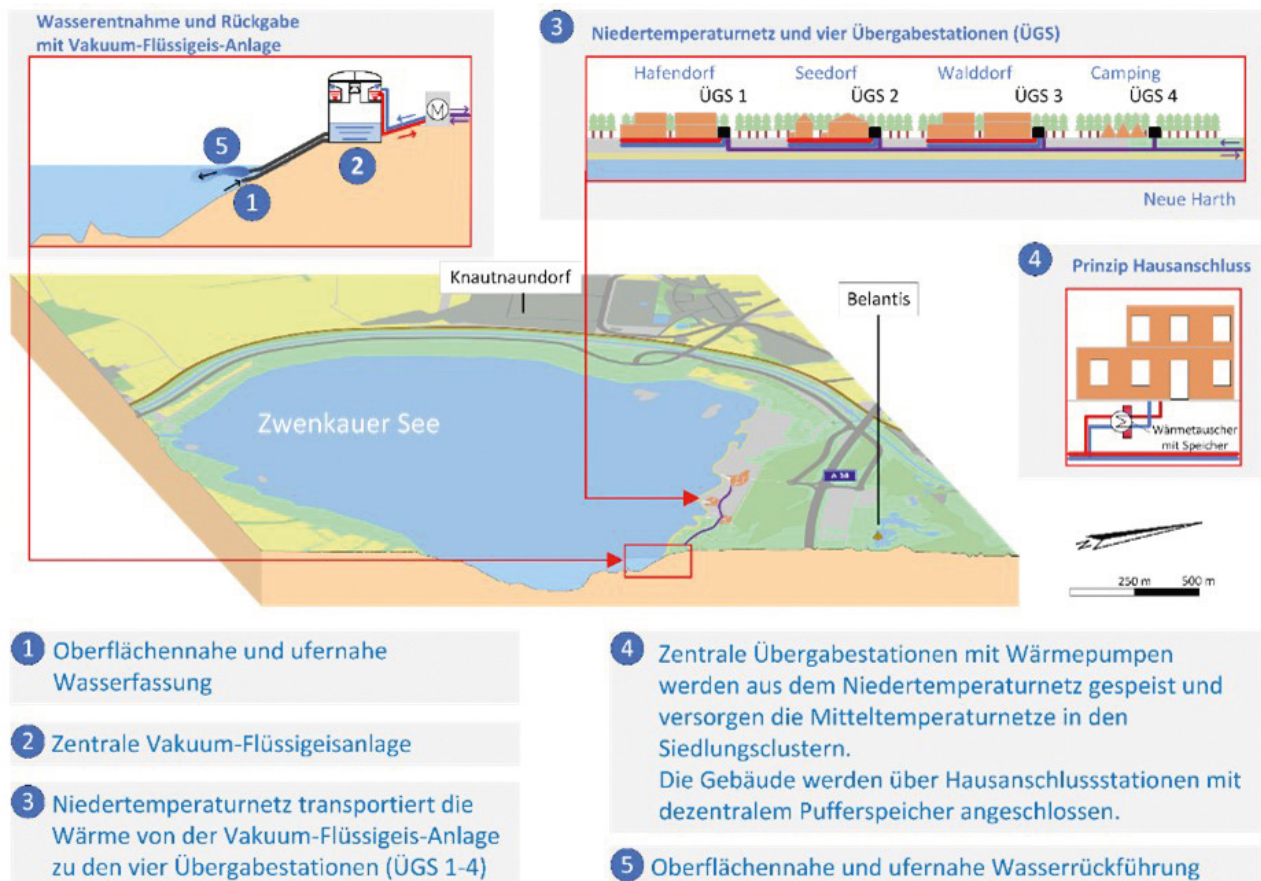


Abbildung 12: Darstellung der Elemente der Wärmeversorgung für das Quartier ‚Neue Harth‘

Dem Wasserkörper wird ufernah und in geringer Tiefe Wasser entnommen und der Vakuum-Flüssigeis-Anlage zugeführt.

**Wesentliche Parameter für die Einleitstelle sind:**

- ▶ Entnahmemenge:  $\varnothing$  ca. 288 m<sup>3</sup>/d  
(entspricht 0,00017% des Seevolumens)
- ▶ Entnahmetemperatur: 3 – 23 °C (je nach jahreszeitlicher Schwankung)
- ▶ Einleittemperatur: 0 – 20 °C
- ▶  $\Delta T$  Entnahme/Einleitung: 0 – 3 K

In der Vakuum-Flüssigeis-Anlage erfolgt die Direktverdampfung, bei der das Seewasser gleichzeitig als Kältemittel dient. Der Wasserdampf ist Träger der dem Seewasser entzogenen Wärme. Er wird vom Verdichter auf ein höheres Druckniveau komprimiert und gibt auf einem höheren Temperaturniveau bis maximal ca. 20 °C die Wärme an die nachgelagerten Wärmepumpen über das sogenannte „kalte Netz“ ab. Die Rohrleitungen dieses Netzes kommen, wegen der geringen Vorlauftemperaturen, vollständig ohne Isolierungen aus.

Die Wärmepumpen in den Dörfern stellen ein Temperaturniveau von bis zu 50 °C zur Verfügung, mit dem die Gebäude über nachgeschaltete Nahwärmenetze mit isolierten Rohrleitungen beheizt werden. Die Trinkwassererwärmung erfolgt dezentral über integrierte Trinkwassermodule in den Hausübergabestationen.

Für das technische Grobkonzept wurden Gesamtinvestitionskosten von 2,8 Mio. EUR ermittelt.

Als erster grober Richtwert für die Wirtschaftlichkeit des Gesamtkonzeptes wurde ein Wärme-Mischpreis von:

- ▶ 16,75 EURct/kWh ohne Förderung und
- ▶ 13,69 EURct/kWh mit 30 % Investitionsförderung

berechnet. Dieses Ergebnis kann als eine erste Indikation für die Wirtschaftlichkeit einer Seethermie-Anlage gelten. Unsicherheiten liegen im Beginn einer technischen Entwicklung mit den damit verbundenen geringen Stückzahlen, insbesondere bei der Vakuum-Flüssigeis-Anlage, begründet. In Analogie zu den Lernkurven anderer erneuerbarer Energiesysteme sind in Zukunft signifikante weitere Verbesserungen zu erwarten.

Im Preisvergleich mit ausgewählten alternativen Versorgungsvarianten im Mehrfamilienhaus-Neubau zeigte sich, dass das Konzept bereits jetzt vergleichbare und geringere Versorgungskosten liefert, wie sie beispielsweise mit Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Photovoltaik und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung zu erwarten wären. Bei einem Mehrfamilienhaus-Neubau liegt die CO<sub>2</sub>-Bilanz (der Seethermie-Nutzung) in derselben Größenordnung wie die eines Holzpelletkessels.

**Genehmigungsfähigkeit**

Die Autoren schätzen ein, dass das technologische Konzept hinsichtlich der eingesetzten Stoffe und möglicher Emissionen so gestaltet werden kann, dass es aus wasser- und immissionsschutzrechtlicher Sicht sicher und grundsätzlich genehmigungsfähig ist. Dies betrifft alle Fragen hinsichtlich eingesetzter Kühl- und Schmiermittel sowie weiterer Betriebs- und Betriebshilfsstoffe bis hin zum Thema Lärmemissionen. Hier gelten keine anderen Bedingungen als bei vergleichbaren technischen Anlagen (z.B. Luft-Luft-Wärmepumpen). Es sind bezüglich dieser Sachverhalte



keine Behördenauflagen zu antizipieren, die einer Installation und dem Betrieb einer solchen Anlage grundsätzlich oder erschwerend entgegenstehen.

Gesondert diskutiert werden müssen die Fragen der Wasserentnahme und der Wiedereinleitung von Wasser – hier mit einer niedrigeren Temperatur –, die in der Studie ausführlich behandelt wurden. Für den Tagebaurestsee muss das Bundesberggesetz als maßgeblicher Rahmen angeführt werden, das über dem Wasserrecht steht und die Sanierung der Bergbaufolgelandschaft (inkl. der Gewässer) zum Inhalt hat, bis diese in den Rechtsrahmen außerhalb der Berggesetzgebung überführt werden kann. Eingriffe müssen unbedenklich sein und dem o. g. Ziel unterliegen bzw. dürfen diesem nicht entgegenstehen.

Zielstellung bezüglich des Gewässers ist die Einhaltung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG). Eingriffe gelten als unbedenklich, wenn sie keine ökologischen Veränderungen in Form von Änderungen biozönotischer Strukturen (Artenzusammensetzung, Biomasse, Dominanzstrukturen) bei den biologischen Qualitätskomponenten gemäß Richtlinie 2000/60/EG verursachen. Aufgrund des sogenannten ‚Verschlechterungsverbot‘ wäre zudem keine signifikante Erwärmung des Gewässerkörpers zulässig. Durch eine Kombinationsanlage mit größerer Wärmeentnahme im Vergleich zum Wärmeeintrag könnte das Verschlechterungsverbot eingehalten werden. Die Vakuum-Flüssigeis-Technologie bewirkt dann eher eine geringfügige Abkühlung des Wassers. Hier könnte im Rahmen des Genehmigungsverfahrens ggf. gefordert werden, dass mögliche ökologische Veränderungen durch die Abkühlung zu bewerten sind. Eine Umweltverträglichkeitsprüfung ist im Ergebnis des Behörden-Scoping nach jetzigem Rechtsstand nicht erforderlich. Die Seethermie-Anlage wäre im Rahmen eines wasserrechtlichen Erlaubnisverfahrens zu genehmigen.

Anstelle der Anwendung der Bodenseerichtlinien (IGKB 2018) schlagen die Autoren vor, eigene regionale Bewertungen zu entwickeln, die der Situation in den mitteldeutschen (und Lausitzer) Bergbaufolgelandschaften gerecht werden.

## Übertragbarkeit

Die Ergebnisse der Studie werden Gemeinden, Investor:innen, Forschungseinrichtungen und Genehmigungsbehörden an vergleichbaren Standorten als Basis dienen, um Projekte zur thermischen Seewassernutzung an Tagebaurestseen zu initiieren. Für den konkreten Quartiers-Standort am Nordufer des Zwenkauer Sees bildet die Studie eine Grundlage für die weitere Entwicklung der Nutzung des Seethermie-Potenzials und die Planung der nötigen Infrastruktur.

Im Ergebnis der Diskussion der Übertragbarkeit auf weitere Nutzungsoptionen und Seen werden Hinweise gegeben, welche wesentlichen technischen, ökologischen, limnologischen und rechtlichen Bedingungen bei der thermischen Nutzung von Bergbaufolgeseen im Allgemeinen zu beachten sind. Zudem legen die Autoren eine Checkliste vor, die künftigen Seethermie-Nutzer:innen Handreichung für die Schritte auf dem Wege bis zur Umsetzung gibt.

Gegenwärtig existiert noch keine Genehmigungspraxis für seethermische Nutzungen im Speziellen in Bezug auf Tagebaurestseen wie dem Zwenkauer See. Für die zuständigen Behörden stehen noch keine Handlungsanleitungen und deshalb keine verbindlichen Bewertungsmaßstäbe zur Verfügung. Ein vereinfachter, orientierender Ansatz besteht aus Sicht der Autoren darin, die installierte thermische Leistung der Wärmepumpenanlage ins Verhältnis zur thermischen Leistung des Gewässers oder, besser noch, die zur Nutzung vorgesehene thermische Arbeit ins Verhältnis zur thermischen Arbeit des Gewässers zu setzen. Der Schwellenwert, ab wann gewässerökologisch nachteilige Entwicklungen zu befürchten wären, ist grundsätzlich für jeden See individuell durch systematische, limnophysikalische Modellierungen herauszuarbeiten. Der bilanzierende Ansatz versetzt die Genehmigungsbehörden in die Lage, mehrere und unterschiedliche Nutzungen (auch zur Kühlung) zu bewerten und zu gestatten.

,Im konkreten Fall des exemplarischen Standortes hat die seethermische Nutzung einen Anteil von < 0,02% der Wärmearbeit des Zwenkauer Sees, ► [Tabelle 1](#).

**Tabelle 1: Beispiel für die Ermittlung der Bilanz der thermischen Arbeit der Wärmepumpenanlage und des Gewässers anhand des Projektes am Zwenkauer See**

Die Autoren empfehlen daher die Entwicklung eines Seethermie-Nutzbarkeitsindex SNix:

Kennwert	Wert	Einheit
Fläche des Zwenkauer Sees	9.700.000	m <sup>2</sup>
Mittlere jährliche Globalstrahlung 1991–2020 in Mitteldeutschland (DWD)	1.090	kWh/(m <sup>2</sup> -a)
mittlerer Albedo über Wasserflächen	0,1	-
geplanter Wärmebedarf des Quartiers	1.500	MWh/a
Energieeintrag in den Zwenkauer See	9.515.700	MWh/a
Anteil des Wärmebedarfs des Quartiers am gesamten Wärmeeintrag in den Zwenkauer See	0,0158	%

Mit dem Seethermie-Nutzbarkeitsindex SNix lässt sich die Schwelle abschätzen, bis zu der die Auswirkungen der Summe der thermischen Nutzungen zu keiner nachweisbaren Beeinträchtigung des gewässerökologischen Zustandes führen und somit eine Genehmigungsfähigkeit im Rahmen objektspezifischer Festlegungen bei seethermischen Nutzungen gegeben sein sollte. Er wird aus dem Quotienten der thermischen Leistung bzw. Arbeit aller installierten und geplanten Wärmepumpen und der des Gewässers gebildet.

Mit der Bilanz der Wärmearbeit ist jedoch noch keine Aussage zu den gewässerökologischen Auswirkungen getroffen. Grundsätzlich ist jeder See, ob natürlicher eiszeitlicher See oder Bergbaufolgesee, ein Individuum hinsichtlich seiner Morphometrie, seines Schichtungsverhaltens, seines Stoffhaushaltes und seiner Biozöosen. Für die Lösung dieser Aufgaben helfen die Erfahrungen aus dieser Studie.

## Ausblick

Die im Juni 2021 beschlossene Novellierung des Klimaschutzgesetzes (BMU 2021) durch die Bundesregierung mit den noch anspruchsvolleren Emissionsreduktionszielen der Treibhausgasneutralität bis 2045 und der Qualifizierung der Zwischenziele für 2030 und 2040 bedeutet eine weitere Forcierung der Abkehr von fossiler Wärme und führt zur Beschleunigung der Entwicklung alternativer Energiesysteme und zur verstärkten Nutzung lokaler Potenziale.

Die lokaltypischen Potenziale der Leipziger Neuseenlandschaft können bei der energetischen Transition eine gewichtige Rolle spielen, wenn es gelingt, die Ergebnisse dieser Seethermie-Studie in einen Roll-out zu überführen und dafür alle relevanten Stakeholder zu aktivieren.

Aus diesem Grund ist geboten, mit kürzeren Fristen als in Deutschland gewohnt eine bereits ausgezeichnete technologische Innovation und eine nachgewiesene Umsetzungsmethode in die Praxis zu überführen. Da die Grundmechanismen mit dieser Studie geklärt wurden, muss mit der Anwendung als ein Baustein bei der Dekarbonisierung nicht auf die Schließung aller Wissenslücken bis ins letzte Detail gewartet werden.

Für einen solchen transdisziplinären Ansatz wird von den Autoren folgende Vorgehensweise empfohlen:

### **I. Positive Kommunikation der Ergebnisse**

Aus der Erfahrung weniger gelungener Kommunikationen bei Technologien anderer Energieträger sollte die Seethermie kommuniziert werden als das, was sie ist:

Ein enormes, umweltfreundliches, energetisches Potenzial, das mithilfe der in Mitteldeutschland ansässigen Ingenieurskompetenz und der an der Transformation beteiligten Strukturen als Chance für einen erfolgreichen Strukturwandel genutzt wird.

Hierbei sind gerade die ersten Schritte wichtig, um dieses Potenzial nicht durch Bedenken bereits in der Anfangsphase in Misskredit bringen zu lassen. Dafür sollte eine Kommunikationsstrategie erarbeitet und gezielte Öffentlichkeitsarbeit betrieben werden.

### **II. Installation und Betrieb eines Piloten**

Sowohl die Vakuum-Flüssigeis-Anlage als auch deren Anwendung für die seethermische Nutzung sind eine grundsätzlich anwendungsreife Technologien. Die Errichtung eines Piloten hilft Restfragen, z. B. bei der Fahrweise, zu klären, die Wirtschaftlichkeit an der existierenden Anlage nachzuweisen, öffentliches Interesse zu wecken sowie Investoren und Multiplikatoren einzuwerben.

Wann es zum Bau des Quartiers „Neue Harth“ kommt, ist terminlich noch unbestimmt und kann geraume Zeit in Anspruch nehmen. Wir empfehlen dringend eine zeitnahe Akquise eines geeigneten Standortes, die Gewinnung interessierter öffentlicher oder privater Investoren und die Eröffnung idealer Fördermöglichkeiten.

Eine auf diese Pilotanlage ausgerichtete Vorplanung sollte frühzeitig die zuständigen Behörden einbeziehen, um auch von vornherein auf schlanke Verfahrenswege, insbesondere bei dem wasserrechtlichen Genehmigungs- und Erlaubnisverfahren, einwirken zu können.

### **III. Gezielte transdisziplinäre Forschung und Entwicklung**

Zeitnah sollten mit den Forschungsinstitutionen der Region (HTWK Leipzig, Uni Leipzig, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig etc.) und den Treiberinnen und Treibern der Energiewende, wie der Innovationsregion Mitteldeutschland als Strukturwandelprojekt der Europäischen Metropolregion Mitteldeutschland, dem Netzwerk Energie und Umwelt e.V. und weiteren Partnern umsetzungsorientierte Forschungsfragen für die Seethermie detektiert werden.

Die Autoren regen im Rahmen dieser Forschungsarbeiten u. a. die Entwicklung eines eigenständigen Tools für die Bewertung ökologischer Veränderungen in den mitteldeutschen und Lausitzer Tagebaurestseen hinsichtlich der biologischen Qualitätskomponenten gemäß EG-WRRL an.

Die Europäische Metropolregion Mitteldeutschland kann im Rahmen des Strukturwandelprojektes „Innovationsregion Mitteldeutschland“ als Treiber der Energiewende hier eine Schlüsselrolle einnehmen. Neben den wirtschaftlichen Effekten hat die Entwicklung zukunftsfähiger energetischer Wertschöpfung, die an gleicher Stelle die fossile Energieerzeugung ablöst bzw. sich bei den Tagebaurestseen der Wunden früherer extensiver Wertschöpfung auf umweltfreundliche Weise bedient, symbolische Strahlkraft.

### 3.3 aquistore

Die nachfolgenden Inhalte sind der Kurzfassung der Studie entnommen, welche von folgendem Konsortium erstellt wurde:

- ▶ JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH
- ▶ Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Mikrobiologie
- ▶ e7 UG
- ▶ Energieberatung Bernd Felgentreff

#### Motivation

Die Abkehr von der fossilen Wärme und der Klimanotstand von Städten wie Leipzig befeuern die Entwicklung alternativer Energiesysteme sowie die Nutzung lokaler Ressourcen. Von großer Bedeutung für eine solche Transition wird sein, die in der Innovationsregion Mitteldeutschland (IRMD) ausgeprägten besonderen Potenziale für eine lokale und regionale energetische Wertschöpfung zu erschließen. Diese lokaltypischen Potenziale sind im Wesentlichen:

- ▶ der Bestandsschutz der Flächen der bisherigen fossilen Energieproduktion für eine künftige Nutzung postfossiler Energieerzeugung, -umwandlung und -speicherung,
- ▶ die weite Verbreitung von Tagebaurestseen zur Nutzung mit Seethermie und
- ▶ die weite Verbreitung tertiärer und quartärer Aquifere mit großen Mächtigkeiten für eine geogene saisonale Wärmespeicherung.

Bezüglich der Wärmeversorgung gilt als Langfristziel zur Energiewende die Anpassung der Heizsysteme an sogenannte „kalte“ Medien (verlustarme Bereitstellung der Wärmemengen durch große Volumina), die effizient aus regenerativen bzw. sekundären Quellen und Speichern gespeist werden.

Mit dem Vorhaben **aquistore** wird das Ziel verfolgt, die einzigartigen Potenziale vorhandener Lockergesteins-Grundwasserleiter in der IRMD für eine nachhaltige geogene saisonale Wärme- und Kältespeicherung erschließen zu helfen. Die Nutzung der Aquifere des tertiären Weißelsterbeckens und des Quartärs in der IRMD stellt eine innovative Option dar und ist beispielhaft für die erforderliche Minderung der Treibhausgasemissionen durch künftige dezentrale Wärmeversorgungssysteme (Nahwärmenetze) auf der Basis dieser „kalten“ Medien.

Als Umsetzungsstudie angelegt, besteht der Kern von **aquistore** in der Kartierung und Darstellung der Verbreitung der Aquiferspeicher in der IRMD in einem „Aquiferatlas“ (Band 2). In diesem können sich Interessenten über das Vorhandensein eines oder mehrerer nutzbarer Aquifere an jedem Standort in der IRMD informieren.

Zudem beantwortet **aquistore** spezielle Fragestellungen zur generellen Machbarkeit und die Auswirkungen der Aquiferspeicherung auf die Umwelt. Die technische Anbindung an Wärme-Versorgungslösungen in den Netzen bzw. Gebäuden, die Gesteinskosten sowie die Genehmigungsfähigkeit sind weitere Themen, die für eine Implementierung von Aquiferspeicherlösungen in der IRMD unabdingbar sind.

Schlussendlich wurden durch gezielte Recherchen potenzielle Pilot- oder Schlüsselprojekte identifiziert, bei denen die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Umsetzung hoch ist. Die Ergebnisse der Studie sollen Investorinnen und Investoren und Gemeinden als Basis dienen, um Projekte zur Wärme- oder Kälteeinspeicherung zu initiieren.

## Aquiferatlas

### Methode

Für die Auswertung wurde eine Vielzahl geologischer Dokumentationen (Kartenwerke, Schichtenverzeichnisse von Bohrungen, Explorationsberichte, Fachliteratur ...) recherchiert, digitalisiert, geologisch-stratigraphisch aufgearbeitet und in einem GIS-Projekt verarbeitet. Die Bündelung vorhandener Aquifere zu Grundwasserleiterkomplexen (GWLK) folgt einem Kompromiss aus verschiedenen Nomenklaturen (Erkundungsmethodik Braunkohle, HK 50 etc.) aus Gründen der pragmatischen Anwendbarkeit für diese Aufgabenstellung, ► [Abbildung 13](#). Zudem wurden in diesem GIS-Projekt die vorhandenen Wasserschutzgebiete sowie der ehemalige und aktive Bergbau als die wichtigsten restriktiv wirkenden Raumwiderstände innerhalb der IRMD kartiert.

Der Aquiferatlas zeigt die Verbreitungsgebiete der fünf wichtigsten Grundwasserleiterkomplexe des Quartärs und Tertiärs ab einer für die Speicherung geeigneten Mindestmächtigkeit von 5 m.

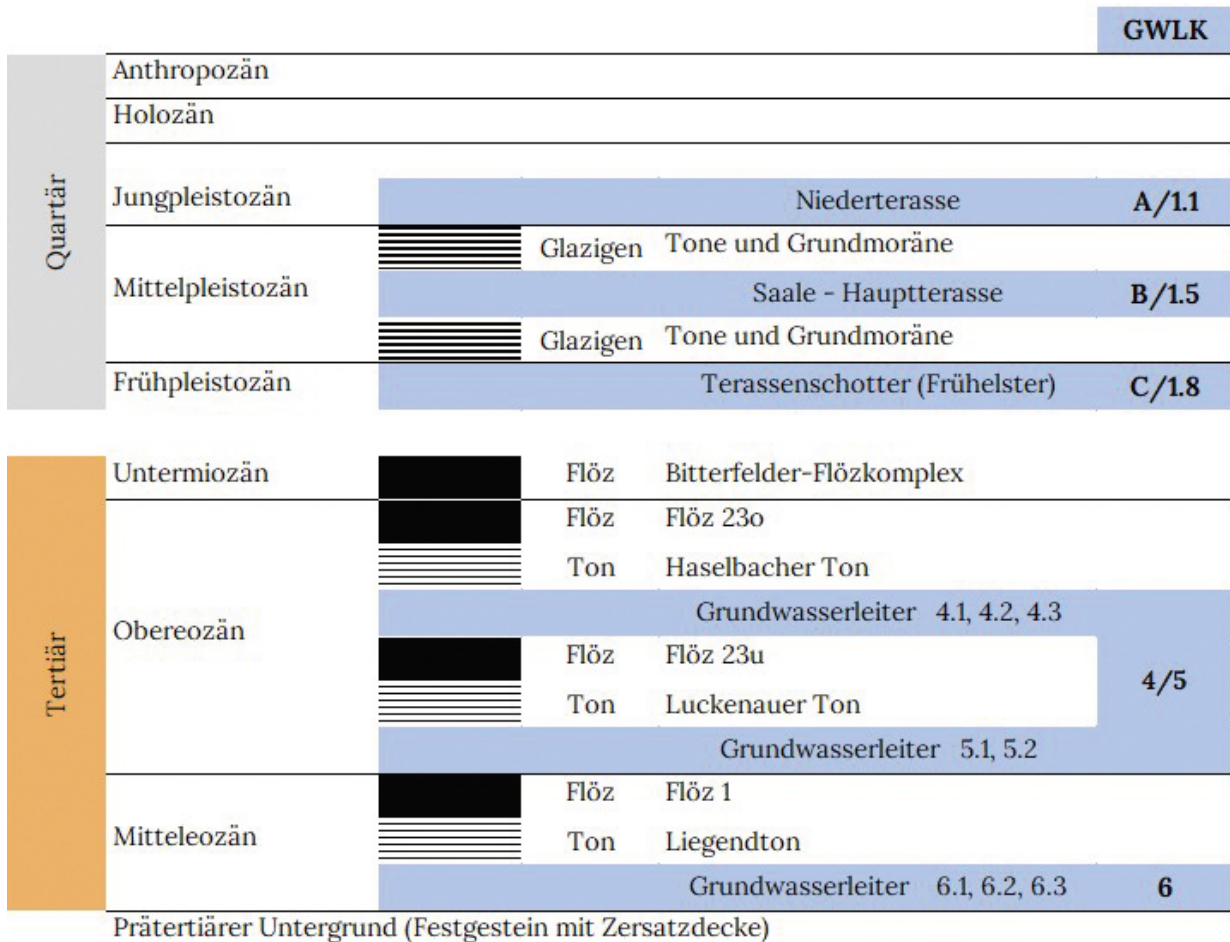


Abbildung 13: Stark vereinfachtes schematisches geologisches Leitprofil für die IRMD mit Clusterung der für eine Wärmespeicherung relevanten Aquifere

### Ergebnisse

Über 40% der Fläche der IRMD weisen mindestens einen für die saisonale Einspeicherung von Wärme oder Kälte geeigneten Grundwasserleiterkomplex auf, ► [Abbildung 14](#). Unter den fünf kartierten Komplexen nimmt der GWLK B/1.5 (Saale-Hauptterasse) mit ca. 25% die größte Fläche ein. Es muss jedoch damit gerechnet werden, dass dieser und die anderen quartären Grundwasserleiterkomplexe nicht vollständig wassererfüllt sind.

In Teilgebieten existieren mehrere Grundwasserleiterkomplexe übereinander, was eine Einspeicherung unterschiedlicher Temperaturen in verschiedenen Stockwerken erlaubt.

**Legende**

■ Verbreitung aller GWLK

▨ aktive und ehemalige  
Abbaugelände

▤ Trinkwasserschutzgebiete  
und Heilquellen

■ Städte > 20.000  
Einwohner (DLM250)

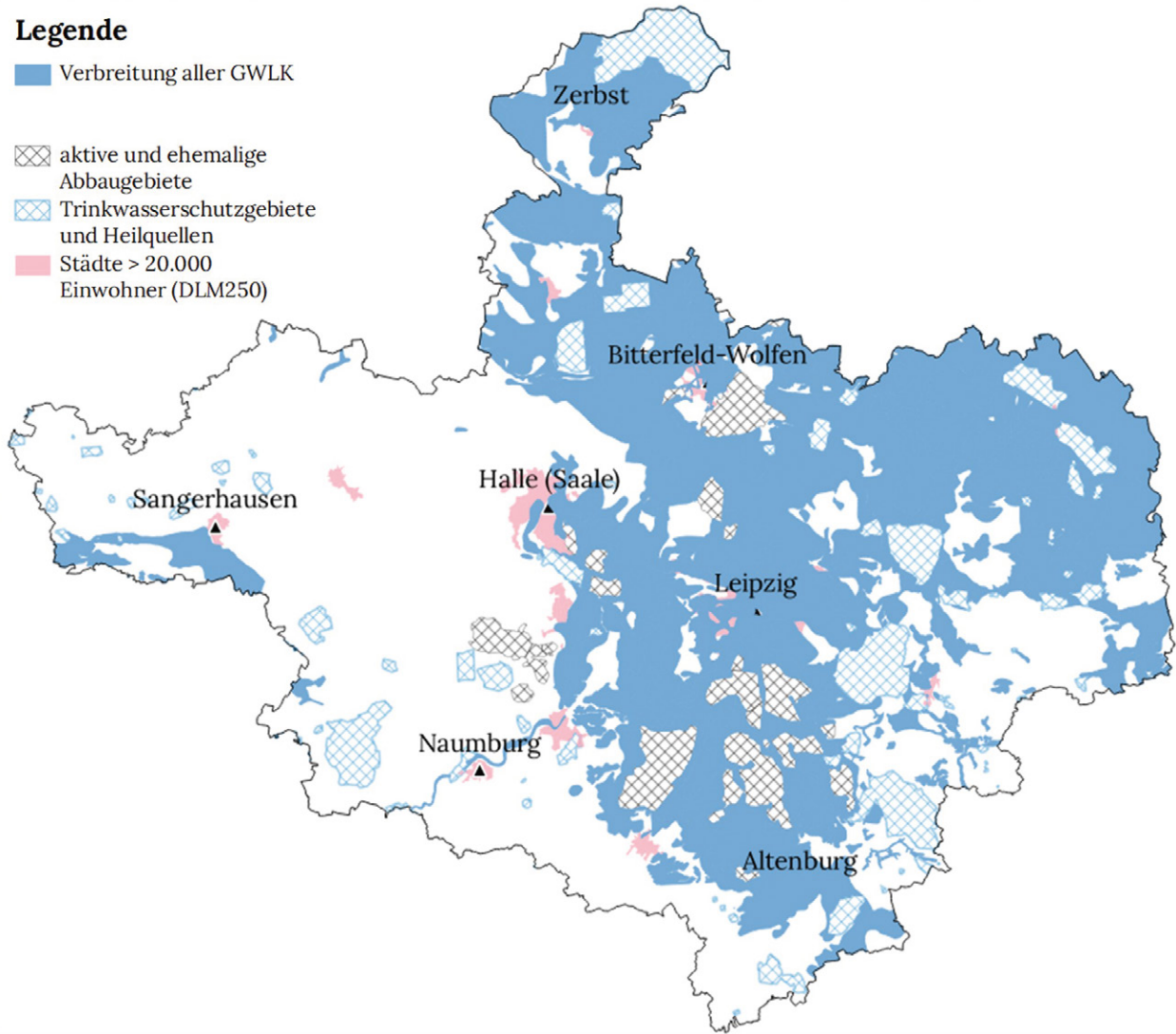


Abbildung 14: Zusammengefasstes Verbreitungsgebiet aller fünf Grundwasserleiterkomplexe

Tabelle 2: Zusammenstellung der von den Grundwasserleiterkomplexen (GWLK) in den Kreisen insgesamt eingenommenen Flächen mit und ohne Raumwiderstand

Landkreis	Fläche LK*	GWLK ohne Raum-Widerstand		GWLK mit Raum-Widerstand	
		Fläche	Anteil von LK-Fläche	Fläche	Anteil von LK-Fläche
	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[%]	[km <sup>2</sup> ]	[%]
<b>Sachsen</b>					
Leipzig (Stadt)	299,0	270,5	90,5	264,8	88,6
Leipzig (Landkreis)	1.651,6	924,0	56,0	604,9	36,6
Nordsachsen	2.027,5	1.667,5	82,3	1.532,4	75,6
<b>Σ</b>	<b>3.978,1</b>	<b>2.862,0</b>	<b>76,27</b>	<b>2.402,1</b>	<b>66,93</b>
<b>Sachsen-Anhalt</b>					
Anhalt-Bitterfeld	1.460,6	1.151,1	78,8	967,1	66,2
Burgenlandkreis	1.419,0	325,8	23,0	260,0	18,3
Halle (Saale)	135,7	55,4	40,8	44,4	32,7
Mansfeld-Südharz	1456,2	104,8	7,2	102,6	7,0
Saalekreis	1440,3	306,6	21,3	281,9	19,6
<b>Σ</b>	<b>5.911,8</b>	<b>1.943,7</b>	<b>35,7</b>	<b>1656</b>	<b>28,76</b>
<b>Thüringen</b>					
Altenburger Land	569,5	282,6	49,6	257,1	45,2
<b>Σ</b>	<b>569,5</b>	<b>282,6</b>	<b>49,6</b>	<b>257,1</b>	<b>45,2</b>

\* Flächenangaben der Landkreise entstammen den Verwaltungsgrenzen Deutschlands des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG)  
© GeoBasis-DE/BKG 2021

## Weitere Ergebnisse

### Auswirkungen der Temperaturerhöhung auf die Biozöosen

Mikrobiologische Untersuchungen wurden an Grundwässern der GWLK B/1.5, B+C/1.5+1.8 und 4/5 sowie an den Flözen 23 und 1 durchgeführt.

Die mikrobiologischen Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Aquifere durch Temperaturerhöhung in ihrer Mikrobiom-Zusammensetzung zwar verändern, hier aber keine relevanten Verschiebungen der Funktionen der mikrobiellen Stoffumsätze und damit ihrer Ökosystemfunktion zu erwarten sind.



Methanogene Archaea konnten in extrem geringem Umfang in den Sequenzanalysen beobachtet werden; eine relevante Methanogenese ist aber nicht zu erwarten. Die von Methan lebenden methylo trophen Bacteria und Archaea sind ebenfalls nachweisbar, liegen aber in ebenso geringen Abundanzen vor, was das Fehlen einer Methanproduktion in einem für diese Bakterien notwendigen Umfang bestätigt.

Die Unterschiede der Mikrobiome deuten auf eine weniger hohe Stabilität des Grundwassermikrobioms hin, als das bisher gemeinhin angenommen wurde. Dies könnte mit der veränderten Grundwasserfließgeschwindigkeit in Trockenjahren und der damit einhergehenden veränderten Salinität zusammenhängen. Dies könnte im zukünftigen Klimawandel durchaus an Bedeutung gewinnen. Gleichzeitig zeigt es aber, dass auch unter veränderten Bedingungen die Temperaturerhöhung eher zu einer Verringerung der Mikrobenzahl führt und damit keine schädliche Wirkung durch eine Nutzung als Wärme-/Kältespeicher zu erwarten ist.

### **Auswirkungen der Temperaturerhöhung auf die Oberfläche**

Die Ausbreitung der Wärme im Untergrund ist von zahlreichen Bodeneigenschaften (Porengröße, Wassergehalt) abhängig. Die Veränderung der Bodentemperatur kann sich durch hydraulische Verbindungen und Durchlässigkeiten zwischen den Schichten bis in die oberflächennahen Bodenschichten ausbreiten und einen gewissen Einfluss auf das Pflanzenwachstum und die Bodenorganismen haben.

Der Einfluss atmosphärischer Strahlung auf die Oberfläche ist jedoch deutlich größer als die Wärmeausbreitung aus tieferen Schichten. Die Einhaltung technischer Standards sorgt neben der Minimierung von Temperaturerhöhungen des Bodens auch für eine höhere Speichereffizienz durch geringere Wärme- oder Kälteverluste.

### **Anforderungen und Schnittstellen der der Planung der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA)-Planung**

Viele der technischen Strukturen bei der Wärme- und Kälteerzeugung entsprechen nicht den aktuell realisierbaren Möglichkeiten. Die Umsetzung einer dezentralen und energieeffizienten Anlagentechnik von Heiz- und Kühlsystemen ist, sowohl bei Neubauprojekten als auch im Bestandsumbau, durchführbar. Dabei entfalten möglichst niedrige Systemtemperaturen in Heizsystemen und möglichst hohe Systemtemperaturen in Kühlsystemen die beste Energieeffizienz.

Die saisonal ausgeglichene thermische Nutzung von Grundwasserleitern durch Entnahme oder Einleitung des Grundwassers zielt auf einen verlustreduzierten Umgang mit Wärme- und Kältebedarfen sowie einer Reduktion der Spitzenlasten hin.

Die effiziente Grundwasserleiternutzung kann über eine kombinierte passive und aktive Nutzung mit Wärmetauscher und Wärmepumpe oder einer Anlagenkopplung zwischen Wärme- und Kältenutzung realisiert werden.

Zusätzlich dazu kann durch den Einsatz von vorausschauenden und selbstlernenden Algorithmen innerhalb der Regelungstechnik die Wärme- und Kältebereitstellung auf verbraucheraangepasste Bedarfe optimiert werden.

## Ermittlung der Gesteungskosten und Bewertung der Effizienz

Die große Anzahl der ATES-Anlagen in den Vorreiternationen wie z.B. den Niederlanden weist darauf hin, dass der Betrieb dieser Anlagen wirtschaftlich ist. Dabei sinken die spezifischen Kapitalkosten einer Kilowattstunde Wärme mit zunehmender Anlagengröße.

Besonders effizient ist der Einsatz von Aquiferspeichern für Gebäude mit hohem, konstantem Energiebedarf über das ganze Jahr, wie Bürogebäude, Flughäfen, Universitäten, Einkaufszentren und vor allem Krankenhäuser. Dabei können bis zu 1.500 t CO<sub>2</sub> pro Jahr durch den Bau eines ATES gespart werden.

## Genehmigungsfähigkeit

Die rechtlichen Rahmenbedingungen der Europäischen Union und in Deutschland beziehen sich auf geothermische Energie und Anlagen im Allgemeinen ohne Unterscheidung verschiedener geothermischer Nutzungsformen. Da nicht zwischen unterschiedlichen Formen der Grundwasserbenutzung unterschieden wird, existieren noch keine speziell auf Aquiferspeicher zugeschnittenen Rechtsvorschriften. In Deutschland ist bislang die Einteilung geothermischer Systeme nach der Tiefe üblich.

Rechtlich fallen in Deutschland alle geothermischen Anlagen mit Tiefen von bis zu 100 m – somit die weitaus meisten Aquiferspeicher – unter das Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Technische Aspekte sind in der VDI-Richtlinie 4640 zusammengestellt. Bei Anlagen mit einer Größe von über 30 kW Kapazität sind in Deutschland im Voraus Berechnungen und/oder numerische Simulationen erforderlich.

In allen drei Bundesländern der IRMD ähneln sich die Genehmigungsabläufe. In bestimmten Fällen können Umweltverträglichkeitsprüfungen gefordert werden. Für die Zukunft bedarf es einheitlicher gesetzlicher Regelungen, um Rechtssicherheit für Anlagenbetreiber und andere Interessengruppen zu gewährleisten.

## Vorschlag von Pilot- und Schlüsselprojekten

Eine im Rahmen dieser Studie erstmalig stichprobenhaft durchgeführte Bedarfs- und Interessenerhebung führt zu einem zahlenmäßig beachtlichen Ergebnis und dokumentiert ein gestiegenes Bewusstsein der Akteure in Betrieben und Einrichtungen hinsichtlich einer grünen Wärmeversorgung mit Nutzung eigener Potenziale. Von 26 recherchierten Standorten bekundeten 15 ein Interesse, weitere noch Unschlüssige werden folgen:

- ▶ Weissenfels
- ▶ Altenburg
- ▶ Bitterfeld OT Wolfen (2x)
- ▶ Eilenburg
- ▶ Großpörsna
- ▶ OT Störmthal (2x)
- ▶ Taucha
- ▶ Leipzig (5x)
- ▶ Schkeuditz
- ▶ Köhra

Hier einige Beispiele Interessierter: Der Leipziger Zoologische Garten ist für eine Aquiferspeicherung doppelt geeignet, da die weitgehend abgeschlossenen Themengebäude im Sommer massiv gekühlt und im Winter niedertemperaturig geheizt werden müssen. Hier können die drei quartären Grundwasserleiterkomplexe A, B und C genutzt werden. In Taucha könnte sommerliche Abwärme aus dem Kaufland-Supermarkt in einem Neubauquartier für die Wärmeversorgung neuer

Wohnungen und des Kindergartens genutzt werden. Dazu steht GWLK B zur Verfügung. Im Leipziger Industriebetrieb SIAG kann vor allem Abwärme aus den Lackierkabinen mithilfe der GWLK B und 4/5 gespeichert werden. Für die Universitätsklinik Leipzig hat sich in den Gesprächen die deutlich effektivere Kühlung über Aquifere anstelle der bisherigen Luftkühlssysteme herausgestellt. Die Speicherkapazitäten der Aquifere unter Leipzig sind in der Regel 500- bis 1.000 mal größer als die größten künstlich hergestellten Pufferspeicher in Deutschland. Dabei kann Leipzig das Potenzial von großflächigen Grundwasserleiterkomplexen des Quartärs sowie des Tertiärs im südlichen Teil der Stadt sinnvoll nutzen. Das gilt beispielsweise auch für Gebäudekomplexe der Leipziger Messe. Ebenso kann der denkmalgeschützte Gebäudekomplex des berühmten Lindenau-Museums Altenburg möglicherweise mit geogenen Wärme- und Kältespeichern wirtschaftlich versorgt werden. Ob der tertiäre Grundwasserleiterkomplex 4/5 vor Ort tatsächlich genügende Ausprägung aufweist, ist im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu prüfen.

Als Schlüsselprojekt wurde von den Autoren das Klinikum St. Georg in Leipzig ausgewählt. Von diesem Projekt könnte aufgrund besonderer Eignung, einer Dringlichkeit und einem zu erwartenden Nutzen ein besonderes Signal ausgehen und der Verwendung der Aquiferspeicherpotenziale in der IRMD insgesamt einen Schub verleihen.

Hier werden dem bisherigen Stand der Technik entsprechend Kältemaschinen über Luftkühler rückgekühlt und elektrisch angetrieben. Eine Abwärme von ca. 5 GWh geht dabei systembedingt verloren. Der innovative technologische Lösungsansatz sieht vor, in einem ersten Schritt die Kältemaschinen über mehrere Brunnendoubletten des gut ausgebildeten Grundwasserleiterkomplexes GWLK B/1.5 rückzukühlen. Der Wirkungsgrad der Kältemaschinen erhöht sich auf bis zu 7. Die Ausfallwahrscheinlichkeit wegen zu hoher Außentemperaturen sinkt damit gegen null. Die im Aquifer gespeicherte sommerliche Abwärme wird passiv zur Luftvorwärmung der raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) im Winter genutzt. Damit sinkt der Energiebedarf für die Erwärmung der RLT-Außenluft. In einem zweiten Schritt werden die Rohrleitungsnetze in den Gebäuden entsprechend den Systemtemperaturen getrennt. Zusätzlich zu Schritt 1 kann die Medizintechnik nun passiv über den Aquifer gekühlt werden.

## Ausblick

Die weite Verbreitung von Aquiferen innerhalb der IRMD, mit einem Flächenanteil von etwa 40 % und einer teilweisen Überdeckung mit mehreren Grundwasserleiterkomplexen, ermöglicht es, weitflächig eine saisonal geogene Wärmespeicherung in der IRMD oder lokal in mehreren übereinanderliegenden Stockwerken anzuwenden.

Die Ergebnisse der Studie zeigen zudem, dass die Einspeicherung von Wärme oder Kälte einen wichtigen Beitrag zum Versorgungsmix einer dekarbonisierten Wärmeversorgung in der IRMD leisten muss.

### Angesichts

- ▶ der beschriebenen Potenziale erschließbarer Grundwasserleiter,
- ▶ eines zunehmenden Bedarfs alternativer Wärme- und Kälteversorgungen,
- ▶ der technischen und ökologischen Realisierbarkeit und
- ▶ einer grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit

empfehlen die Autoren eine beschleunigte Überführung in die Praxis.

Die Ergebnisse der Studie sollen Investorinnen und Investoren, Gemeinden und Genehmigungsbehörden als Grundlage dienen, um Projekte der saisonalen geogenen Wärme- bzw. Kältespeicherung an geeigneten Standorten zu initiieren. Hierfür wird eine Checkliste zur Verfügung gestellt. Generell ersetzen der Atlas und die im Rahmen der Studie durchgeführten Untersuchungen nicht die Schritte der Vorplanung und Planung für die Realisierung eines konkreten Aquiferspeichers in der IRMD.

Die beschlossene Novellierung des Klimaschutzgesetzes (BMU 2021) durch die Bundesregierung führt zur Beschleunigung der Entwicklung alternativer Energiesysteme und der verstärkten Nutzung lokaler Potenziale. Weitere Entwicklungen sind von erheblichem Einfluss auf die Implementierung von ATES-Projekten in der Praxis. Hierzu gehören die CO<sub>2</sub>-Bepreisung, die Taxonomieverordnung der EU, die Förderlandschaft des Bundes und der Länder der IRMD und auch die Ergebnisse der ATES-Forschungsinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF).

Die lokaltypischen Potenziale der Grundwasserleiterkomplexe in der IRMD können bei der energetischen Transition eine gewichtige Rolle spielen, wenn es gelingt, die Ergebnisse dieser Studie in einen Roll-out zu überführen und dafür alle relevanten Stakeholder zu aktivieren. Dabei sind insbesondere die bereits interessierten Investorinnen und Investoren zu unterstützen.

Aus diesem Grund ist geboten, mit kürzeren Fristen als in Deutschland gewohnt, die in anderen Ländern erprobte Technologie in die Praxis zu überführen. Da die Grundmechanismen der Technologie bekannt sind, muss mit der Anwendung nicht auf die Schließung aller Wissenslücken bis ins letzte Detail gewartet werden. Dieser wichtige Baustein der Dekarbonisierung kann bereits heute initiiert werden. Für einen solchen transdisziplinären Ansatz wird von den Autoren folgende Vorgehensweise empfohlen:

### **I. Umsetzungsprojekte angehen**

Die im Rahmen der Studie aufgenommenen Gespräche mit potenziellen Investorinnen und Investoren sind zu vertiefen und Machbarkeitsstudien einzuleiten (dafür Förderungen zugänglich machen). Weitere Interessenten sind zu detektieren und motivieren.

Bei Vorplanungen zu ATES sind die Fachbehörden frühzeitig einzubeziehen. Umsetzungsprojekte sind zu monitorieren (Technik/Fahrweise, Wirtschaftlichkeit etc.).

Als außerordentlich wichtig erachten die Autoren darüber hinaus die frühzeitige und fortlaufende Einbindung aller Interessengruppen und eine positive Kommunikation der Nutzung dieser natürlichen Potenziale als einen Schatz der Region. Auf diesem Weg kann einer breiten Öffentlichkeit sowohl der gesamtgesellschaftliche Nutzen einer klimafreundlichen Wärmeproduktion als auch der individuelle Nutzen einer regionalen Wertschöpfung verdeutlicht werden.

### **II. Positive Kommunikation der Ergebnisse**

Die Aquiferspeicherung sollte kommuniziert werden als das, was sie ist: Ein enormes, umweltfreundliches, energetisches Speicherpotenzial, das mithilfe der in Mitteldeutschland ansässigen Ingenieurskompetenz und den an der Transformation beteiligten Stakeholdern als Chance und Beitrag für einen erfolgreichen Strukturwandel genutzt wird.

Hierbei sind gerade die ersten Schritte wichtig, um dieses Potenzial nicht durch Bedenken bereits in der Anfangsphase in Misskredit bringen zu lassen. Dafür sollte eine Kommunikationsstrategie erarbeitet und gezielte Öffentlichkeitsarbeit betrieben werden.

Wichtig ist auch, Fachpersonal zu schulen und mit der Technologie vertraut zu machen. Dies betrifft TGA-Planer, Anlagenbauer sowie das gesamte beteiligte Handwerk. Informationen und Schulungen können über die Kammern, über Ausschüsse und die Energieagenturen der SAENA, LENA und ThEGA erfolgen.

### III. Bereitstellung des Atlas als interaktive Karte

Die öffentliche Bereitstellung des Atlas als interaktive Karte über ein Web-GIS ist ein wichtiger Schritt für einen Roll-out der Technologie. Hier kann der User über triviale GIS-Funktionen Standorte bezüglich des Vorhandenseins von Grundwasserleiterkomplexen genauer abfragen, die seiner Wärme-/Kälteeinspeicherung entsprechend geeignet sind.

Eine weitere Detaillierung des Atlas kann zudem die Aussagekraft vertiefen und Entscheidungsfindungen – auch im Rahmen erster Wirtschaftlichkeitserwägungen – erleichtern.

Zu solchen Detaillierungen gehören:

- ▶ Basis- und Mächtigkeitskarten, Kartierung hydraulischer Korrespondenzen (d.h. Verbindungen zwischen den Grundwasserleiterkomplexen),
- ▶ Grundwasserspiegelhöhen (und -schwankungen) und  $k_f$ -Wert-Verbreitung.

Eine noch höhere Nutzerfreundlichkeit kann durch eine Skalierung der Aquifereignung und deren Darstellung im Atlas erzielt werden.

### IV. Gezielte transdisziplinäre Forschung und Entwicklung

Zeitnah sollten mit den Forschungsinstitutionen der Region (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig, HTWK Leipzig, Uni Leipzig etc.) und den Treibern der Energiewende, wie der IRMD als Strukturwandelprojekt der Europäischen Metropolregion Mitteldeutschland, dem Netzwerk Energie und Umwelt e.V. und weiteren Partnern umsetzungsorientierte Forschungsfragen für die Aquiferspeicherung detektiert werden.

Hierzu gehören Themenkreise aus Geothermie, Mikrobiologie, Geo-/Hydrochemie und Ingenieurtechnik. Auch sollte die Eignung von Kippengrundwasserleitern für die Wärmeeinspeicherung untersucht werden.

Für die Region empfehlen die Autoren zudem eine progressive FuE-Akquise zur Einwerbung von Mitteln der EU wie auch von Bundesmitteln (BMBF, BMWk, Strukturwandel fonds etc.). Nicht an Calls gebundene Aufrufe wie „REGION.innovativ“ u. a. sollten genutzt werden. Zudem bieten auch die Regionalen Innovationsstrategien der Bundesländer Möglichkeiten der Nutzung. Ebenso können Teilthemen in die im Aufbau befindliche Initiative zum Netzwerk „URMIT“ (Umweltwärme Mitteldeutschland) implementiert werden, das über das Programm „ZIM – Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“ gefördert wird.

**Zusatz:**

Die regionalen Geopotenziale „Tagebaurestseen“ für die Seethermie und die Aquifere des tertiären und quartären Untergrundes sind herausragende Inhalte und Gedankenanstöße zur Etablierung eines Kompetenzzentrums in der Region.

Mit diesen Potenzialen steht die Region deutschlandweit einmalig da und kann die zusammenzuführende Expertise aus Ingenieurs- und Wissenschaftsbereich nicht nur als Beitrag zur originären Lösung ihres eigenen Strukturwandels, sondern mithilfe eines solchen Kompetenzzentrums auch zum Export von Know-how nutzen.

Die Europäische Metropolregion Mitteldeutschland kann im Rahmen des Strukturwandelprojektes „Innovationsregion Mitteldeutschland“ als Treiber der Energiewende hier eine Schlüsselrolle einnehmen. Neben den wirtschaftlichen Effekten hat die Entwicklung zukunftsfähiger energetischer Wertschöpfung, die an gleicher Stelle die fossile Energieerzeugung ablöst bzw. sich bei den Tagebaurestseen der Hinterlassenschaften früherer extensiver Wertschöpfung auf umweltfreundliche Weise bedient, symbolische Strahlkraft.

## IMPRESSUM

Redaktionsschluss: 01.06.2022

### Herausgeber

**Metropolregion Mitteldeutschland  
Management GmbH**

Schillerstraße 5  
04109 Leipzig

E-Mail: [info@mitteldeutschland.com](mailto:info@mitteldeutschland.com)

Web: [www.mitteldeutschland.com](http://www.mitteldeutschland.com)

Geschäftsführer:

Jörn-Heinrich Tobaben

### Burgenlandkreis

Stabsstelle Strukturwandel,  
Regionalplanung & Breitbandausbau  
Schönburger Str. 41  
06618 Naumburg

Web: [www.burgenlandkreis.de](http://www.burgenlandkreis.de)

### Redaktion

Johannes Gansler

### Grafik

DIE AUSSICHT  
[alexander.dornheim@dieaussicht.de](mailto:alexander.dornheim@dieaussicht.de)  
Uwe Jähnichen

### Lektorat

Gabriele Christine Oldenburg



INNOVATIONSREGION  
MITTELDEUTSCHLAND

## Kontakt

Metropolregion Mitteldeutschland Management GmbH  
Schillerstraße 5  
04109 Leipzig

03 41 / 6 00 16 - 0  
strukturwandel@mitteldeutschland.com

[www.mitteldeutschland.com](http://www.mitteldeutschland.com)  
[www.innovationsregion-mitteldeutschland.com](http://www.innovationsregion-mitteldeutschland.com)

Ein Projekt der



METROPOLREGION  
MITTELDEUTSCHLAND